DR. STROTMANN
Umweltberatung GmbH
Beratung
Gutachten
Planung
Bauleitung

Machbarkeitsstudie
zur

Kappung der Grundwasserspitzen im Dykgebiet

Stadtbezirk Krefeld Nord

Objekt: Dykgebiet
Stadtbezirk Nord (Inrath/Kliedbruch)
Krefeld

Auftraggeber: Stadt Krefeld
Fachbereich Umwelt und Verbraucherschutz
Elbestr. 7
47800 Krefeld

Projektnummer: Kr 037/2019 RS

Projektleiter: Dipl. Geol. Dr. R. Strotmann

Mitarbeit: M.Sc. M. Brunner (BWS GmbH)

Hierbei handelt es sich um die digitale Version des Berichtes. Abweichungen von dem ausgedruckten Exemplar sind möglich. Das unterzeichnete Original kann beim Auftraggeber eingesehen werden.

Krefeld, den 28.01.2020

Das Gutachten umfasst 130 Seiten, 28 Tabellen, 27 Abbildungen und 2 Anlagen

GESCHÄFTSFÜHRENDE GESELLSCHAFTER:
Marc Stirkat, Dipl.-Geograph
Dr. Reinhold Strotmann, Dipl.-Geologe
öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger der IK-Bau NRW für „Gefährdungsabschätzung für den Wirkungspfad Boden-Gewässer (Bodenschutz und Altlasten, Sachgebiet 2)"
Eingetragen beim Amtsgericht Krefeld unter HRB 6106

Bockumer Platz 5a
47800 Krefeld
Tel.: 02151-7635940
Fax: 02151-7635955
e-mail: post@slub.de
Internet: www.slub.de

Inhaltsverzeichnis:

1 ZUSAMMENFASSUNG 14

2 VORGANG 16

2.1 ANLASS 16

2.2 AUFGABENSTELLUNG 17

3 AUSGANGSSITUATION GRUNDWASSERABSENKUNG LEG 19

3.1 CHRONOLOGIE 19

3.2 ERLAUBTE FÖRDERMENGEN 20

3.3 GRUNDWASSERABSENKANLAGE RISLERDYK 21

3.4 ABREINIGUNG DES GEFÖRDERTEN GRUNDWASSERS 22

3.5 ERLAUBTE EINLEITGEHALTE VORFLUT 24

4 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN 24

4.1 DATENERHEBUNG UND -ERFASSUNG 24

4.2 EIGENTÜMERBEFRAGUNG 25

4.3 DIGITALES GELÄNDEMODELL 25

4.4 DATENBASIS GRUNDWASSERGANGLINIEN 27

4.5 DATENBASIS KLIMA 27

4.6 GRUNDWASSERMODELL 27

4.7 BEDARFSERFASSUNG UND BETROFFENHEITSANALYSE 28

4.8 VARIANTENBETRACHTUNG 29

4.9 MACHBARKEITSSTUDIE 30

4.10 ABSCHÄTZUNG DER INVESTITIONS- UND BETRIEBSKOSTEN 31

4.11 ZEITSCHIENE 31

5 ANLAGENBESCHREIBUNG LEG 32

5.1 GRUNDWASSERABSENKUNGSANLAGE 32

5.1.1 TECHNISCHE BESCHREIBUNG DER GRUNDWASSERABSENKUNGSANLAGE 32

5.1.2 FÖRDERBRUNNEN 33

5.1.3 ROHWASSERBESCHAFFENHEIT 34

5.2 AUFBEREITUNGSANLAGE ... 36
5.2.1 STEUERUNG/REGELUNG ... 37
5.2.2 STRIPPANLAGE (K1 UND K2) ... 38
5.2.3 LUFTAKTIVKOHLEFILTER (A1) ... 38
5.2.4 SCHWERKRAFTFILTER (F) ... 39
5.2.5 PROBENAHMESTELLEN ... 39
5.2.6 MENGENMESSUNG ... 40
5.2.7 PLATZBEDARF ... 40
5.2.8 EINLEITUNG IN DIE NIEPKUHLEN ... 40
6 ALLGEMEINE STANDORTVERHÄLTNISSE ... 41
6.1 LAGE ... 41
6.2 KLIMA ... 41
6.3 KLIMATISCHE WASSERBILANZ ... 42
6.4 MORPHOLOGIE ... 43
6.5 GEOLOGISCHER UND HYDROGEOLOGISCHER ÜBERBLICK ... 44
6.6 GRUNDWASSERFLIEßRICHTUNG ... 45
6.7 FLURABSTÄNDE ... 48
6.8 HYDROGEOLOGISCHE KENNWERTE ... 48
6.8.1 DURCHLÄSSIGKEITSBEIWERTE AUS SIEBANALYSEN ... 48
6.8.2 PUMPVERSUCHSAUSWERTUNG ... 48
6.9 GRUNDWASSERENTNAHMEN IM AUSSAGERAUM ... 50
6.10 WASSERSCHUTZZONEN IM AUSSAGERAUM ... 50
6.11 ALTLASTVERDACHTSFLÄCHEN IM AUSSAGERAUM ... 50
6.12 ERGEBNISSE DER ANWOHNERBEFRAGUNG ... 51
6.12.1 BELASTBARKEIT DER BEFRAGUNG ... 51
6.12.2 BAUJAHRE DER GEBÄUDE ... 52
6.12.3 AUSBILDUNG DER BAUWERKSABDICHTUNG ... 53
6.12.4 HÖHENLAGE DER GEBÄUDEBODENPLATTEN ... 53
6.12.5 BEWERTUNG DER ANWOHNERBEFRAGUNG ... 54

7 GRUNDWASSERGANGLINIENANALYSE UND -HÖCHSTSTÄNDE 55

7.1 DEFINITIONEN 55

7.1.1 OBJEKTBEZOGENE ANGABEN DES GRUNDWASSERHÖCHSTSTANDES 55

7.1.2 FLÄCHENBEZOGENE ANGABEN DES GRUNDWASSERHÖCHSTSTANDES 56

7.1.3 ZU ERWARTENDE HÖCHSTE GRUNDWASSERSTÄNDE 57

7.2 ABLEITUNG DES HÖCHSTEN GEMESSENEN GRUNDWASSERSTANDES 60

7.2.1 EINFLÜSSE AUF DIE ENTWICKLUNG DER GRUNDWASSERSTÄNDE 60

7.2.2 GRUNDWASSERSTÄNDE AB 1900 61

7.2.4 ENTWICKLUNG DER GRUNDWASSERSTÄNDE NACH 1950 63

7.2.6 RÄUMLICHE ENTWICKLUNG DER GRUNDWASSERSTÄNDE 68

7.2.7 ABLEITUNG VON GRUNDWASSERHÖCHSTSTÄNDEN IM UMFELD 70

7.3 DER BEMESSUNGSGRUNDWASSERSTAND AN DER MESSSTELLE TB 15 71

8 AUFBAU DES NUMERISCHEN MODELLS 74

8.1 MODELLABGRENZUNG 74

8.2 HORIZONTALE DISKRETISIERUNG 75

8.3 VERTIKALE DISKRETISIERUNG 76

8.4 RANDBEDINGUNGEN 77

8.5 PARAMETERBELEGUNG DES GRUNDWASSERMODELLS 77

8.5.1 DURCHLÄSSIGKEITSBEIWERT (k_F-WERT) 77

8.5.2 GRUNDWASSERNEUBILDUNG 78

8.5.3 PORENVOLUMEN 79

8.5.4 SPEICHERKOEFFIZIENT 80

8.6 BRUNNEN UND ENTNAHMEMENGEN 80

8.7 MODELLKALIBRIERUNG UND MODELLPRÜFUNG 81

9 ERGEBNISSE DER MODELLBERECHNUNGEN 84

9.1 BERECHNUNGEN ZUM STICHTAG 9.10.2014 MIT LEG-FÖRDERUNG 85

9.2 BERECHNUNGEN ZUM STICHTAG 9.10.2014 OHNE ENTNAHMEN LEG 85

9.3 GRUNDWASSERGLEICHENPLAN MIT HÖCHSTEN ZU ERWARTENDEN GRUNDWASSERSTÄNDEN 86

9.4 FLURABSTANDSKARTEN 87

9.5 GRUNDWASSERDIFFERENZENPLAN 88

10 ABLEITUNG VON VORZUGS- BZW. BETROFFENHEITSRÄUMEN 90

10.1.1 RAUMBEZUG / STRAßENZÜGE 90

10.1.2 HÖHENLAGEN VON KELLERBODENPLATTEN 91

11 MACHBARKEITSSTUDIE 95

11.1 WASSERWIRTSCHAFTLICHE MAßNAHMEN 95

11.1.1 OFFENE VORFLUTER 95

11.1.2 DICHTWÄNDE 96

11.1.3 BRUNNEN UND DRÄNAGEN 97

11.2 BEDARFSANALYSE 97

11.2.1 RAUMBEZUG 97

11.2.2 MENGENBEZUG 98

11.3 VARIANTENBERECHNUNG MIT DEM GRUNDWASSERMODELL 99

11.3.1 VARIANTE 1 100

11.3.2 VARIANTE 2 101

11.3.3 VARIANTE 3 101

11.3.4 VARIANTE 4 101

11.3.5 VARIANTE 5 102

11.3.6 ZUSAMMENFASSENDE VARIANTENBEWERTUNG 102

11.4 BESCHREIBUNG DER VORZUGSVARIANTEN 103

11.4.1 VORZUGSVARIANTE 3 104

11.4.2 VORZUGSVARIANTE 5 106

12 ZU ERWARTENDE ANLAGENBESCHREIBUNG 108

12.1 BESCHREIBUNG DER VORHANDENEN NUTZBAREN INFRASTRUKTUR 108

12.2 TRANSPORT UND ABLEITUNG DES GEHOBENEN GRUNDWASSERS 108

12.3 ABREINIGUNG GEHOBENEN WASSER VOR EINLEITUNG NIEPKUHLEN 108

12.4 FACHLICHE BETREUUNG DER ANLAGENTECHNIK 109

13 ABSCHÄTZUNG DER INVESTITIONSKOSTEN 110

13.1 ABSCHÄTZUNG DER KURZ- BIS MITTELFRISTIGEN INVESTITIONSKOSTEN VARIANTE 3 111

13.2 ABSCHÄTZUNG DER KURZ- BIS MITTELFRISTIGEN INVESTITIONSKOSTEN VARIANTE 5 113

14 ABSCHÄTZUNG DER BETRIEBS- UND WARTUNGSKOSTEN..... 115

14.1 ABSCHÄTZUNG DER BETRIEBS- UND WARTUNGSKOSTEN AKTUELLER ANLAGENBETRIEB DER LEG 115

14.2 ABSCHÄTZUNG DER BETRIEBS- UND WARTUNGSKOSTEN VARIANTE 3 118

14.3 ABSCHÄTZUNG DER BETRIEBS- UND WARTUNGSKOSTEN VARIANTE 5 119

15 ABSCHÄTZUNG DER ZEITSCHIENE..... 121

15.1 VARIANTE 3 121

15.2 VARIANTE 5 121

16 DISKUSSION DER ERGEBNISSE UND EMPFEHLUNGEN..... 123

17 ABSCHLIEßENDE HINWEISE 127

18 LITERATURVERZEICHNIS..... 128

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Entwicklung der Fördermengen 2000–2018 22

Abbildung 2: Systemskizze Grundwasserabsenkung inkl. der Aufbereitungsanlage der LEG 33

Abbildung 3: Entwicklung der LHKW-Gehalte Abwassereinigungsanlage (2012 bis 9.2019) 36

Abbildung 4: Entwicklung der Eisen-Gehalte Abwassereinigungsanlage (2012-9.2019)..... 36

Abbildung 5: Grundfließbild der Wasseraufbereitungsanlage 37

Abbildung 6: Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz (1955-2019) 43

Abbildung 7: Prozentuale Verteilung der an Grundwassermessstelle TB 15 gemessenen Grundwasserstände (Nov. 1959 bis März 2019) 47

Abbildung 8: Einfluss der Messdauer auf die Ableitung eines Grundwasserhöchststandes am Beispiel von Ganglinien aus dem Südwesten von Krefeld..... 59

Abbildung 9: Gegenüberstellung der klimatischen Wasserbilanz zur Grundwasserstandsentwicklung am Bespiel der Messstelle GWM 131 60

Abbildung 10: Entwicklung der Grundwasserentnahmen im Stadtgebiet Krefeld von 1961 bis 2020 61

Abbildung 11: Entwicklung der Grundwasserstände ausgewählter Messstellen im bzw. im Umfeld des Arbeitsraumes..... 64

Abbildung 12: Gegenüberstellung der Grundwasserstände der Messstelle St. Tönis zur Messstelle P 501..... 66

Abbildung 13: Gegenüberstellung der Grundwasserstände der Messstelle St.Tönis zur Messstelle TB 15..... 67

Abbildung 14: Lage des Modellgebietes mit Untersuchungsraum 75

Abbildung 15: Vertikale Modelldiskretisierung und Zuordnung der stratigraphischen Einheiten 76

Abbildung 16: 3D-Darstellung der Modellebenen 1, 5, 7 und 9 (mNHN, Blickrichtung NNW) 77

Abbildung 17: Verteilung der Grundwasserneubildung im Modell 79

Abbildung 18: Referenzmessstellen der Kalibrierung 82

Abbildung 19: Vergleich der gemessenen und berechneten Grundwasserstände zum 24.05.2011 83

Abbildung 20: Vergleich der gemessenen und berechneten Grundwasserhöchststände ... 86

Abbildung 21: Auszug Flurabstandskarte ohne Entnahme LEG (Referenz 09.10.2014)..... 88

Abbildung 22: Darstellung der Grundwasserkappung im Raum Bönnersdyk / Wilmendyk abgeleitet aus den gemessenen Grundwasserständen an der Messstelle TB 15 93

Abbildung 23: Auszug Gewässerkarte Stadt Krefeld (2017)..... 96

Abbildung 24: Beziehung zwischen der Fördermengen Anlage LEG (Brunnen 2 & 3) und dem Grundwasserstand am TB 15 99

Abbildung 25: Potenzielle Lage von Brunnen zur Wasserhaltung (Variante 1: 1 Brunnen, Variante 2-5: je 2 Brunnen) 100

Abbildung 26: Abschätzung der gemittelten (2014 bis 2018) Betriebs- und Wartungskosten der Anlage LEG (brutto)..... 117

Abbildung 27: Jahresbeitrag pro Mitglied bei gemittelten Betriebs-/Wartungskosten von 375.000,- € brutto pro Jahr 117

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Chronologische Entwicklung der Wasserhaltungsmaßnahme im Wohngebiet Rislerdyk, Wallenburgdyk und Bönnersdyk 19

Tabelle 2: Überwachung der Grundwasserstände im Umfeld der Grundwasserförderbrunnen der LEG durch Datenlogger 21

Tabelle 3: Technische Daten der in den Förderbrunnen eingebauten Pumpen (nach Mitteilung der NGN GmbH) 34

Tabelle 4: Ergebnisse der laborchemischen Untersuchungen am Grundwasser Brunnen 2_{neu} vom Dez. 2018 35

Tabelle 5: Niederschlagsmengen und mittlere Temperaturen Station Tönisvorst (hydrologische Jahre mit November bis Oktober) 41

Tabelle 6: Statistik für die an der Messstelle TB 15 gemessenen Grundwasserstände über den Zeitraum Nov. 1959 bis März 2019 47

Tabelle 7: Begriffsdefinitionen gemäß BWK Merkblatt M8 (2009) 56

Tabelle 8: Darstellung der Einflussfaktoren für die Entwicklung von Grundwasserständen (BWK 2009) 57

Tabelle 9: Bewertungstabelle des Trends nach dem Grimm-Strele-Verfahren (modifiziert) 68

Tabelle 10: Auswertung des Trendverhaltens nach Grimm-Strele 69

Tabelle 11: Gemessene höchste Grundwasserstände im Aussageraum (11.1959 bis 8.2019) 70

Tabelle 12: Ableitung des zu erwartenden Grundwasserhöchststandes für die Messstelle TB 15 73

Tabelle 13: k_f-Werte des Modells für den quartären Aquifer 78

Tabelle 14: Stammdaten der Brunnen der Wasserhaltung Rislerdyk 80

Tabelle 15: Stammdaten der aktiven Brunnen der WGA Horkesgath-Bückerfeld 80

Tabelle 16: Gemessene und berechnete Grundwasserstände zum 24.05.2011 im Aussageraum und am Standort der Messstelle TB 15 84

Tabelle 17: Gemessene und abgeleitete Grundwasserhöchststände im Aussageraum und am Standort der Messstelle TB 15 87

Tabelle 18: Beispielhafte Lage der Unterkanten von Kellerbodenplatten für westlich des Grünzuges Kliedbruch gelegenen Gebäuden 92

Tabelle 19: Vor - und Nachteile der aufgezeigten Varianten 1 bis 5 103

Tabelle 20: Berechnung der Unteren Kulmination und der Entnahmebreite für die Vorzugsvariante 3 und 5 107

Tabelle 21: Kostenabschätzung zu möglichen mittel- bis langfristigen Investitionskosten .. 111

Tabelle 22: Abschätzung der Investitionskosten Variante 3 (Stand: Oktober 2019) 112

Tabelle 23: Abschätzung der Investitionskosten Variante 5 (Stand Okt. 2019) 114

Tabelle 24: Übersicht der berücksichtigten Wartungs- und Betriebskosten für die Brunnen- und Pumpanlage 116

Tabelle 25: Abschätzung der Betriebs-und Wartungskosten Variante 3 (Stand Nov. 2019) 118

Tabelle 26: Abschätzung der Betriebs-und Wartungskosten Variante 5 (Stand Nov. 2019) 119

Tabelle 27: Vor- und Nachteile der Vorzugsvarianten 125

Tabelle 28: Zusammenstellung der abgeschätzten Kosten für die Varianten 3 und 5 126

Anlagen:

Anlage 1: Lagepläne

Anlage 1.1: Übersichtslageplan

Anlage 1.2: Aussageraum Machbarkeitsstudie

Anlage 1.3: Darstellung LEG-Anlage im Aussageraum mit Bereichen besonderer Bedeutung

Anlage 1.4a: Darstellung der Ergebnisse der Eigentümerbefragung der Stadt Krefeld in Bezug auf die Errichtung der Gebäude (Stichtag: 20.07.2018), Teilfläche West

Anlage 1.4b: Darstellung der Ergebnisse der Eigentümerbefragung der Stadt Krefeld in Bezug auf die Errichtung der Gebäude (Stichtag: 20.07.2018), Teilfläche Ost

Anlage 1.5a: Darstellung der Ergebnisse der Eigentümerbefragung der Stadt Krefeld in Bezug auf die Ausbildung der Gebäudeabdichtung (Stichtag: 20.07.2018), Teilfläche West

Anlage 1.5b: Darstellung der Ergebnisse der Eigentümerbefragung der Stadt Krefeld in Bezug auf die Ausbildung der Gebäudeabdichtung (Stichtag: 20.07.2018), Teilfläche Ost

Anlage 1.6a: Darstellung der Ergebnisse der Eigentümerbefragung der Stadt Krefeld in Bezug auf die Höhenlage der Unter-/Oberkante Bodenplatten (Stichtag: 20.07.2018), Teilfläche West

Anlage 1.6b: Darstellung der Ergebnisse der Eigentümerbefragung der Stadt Krefeld in Bezug auf die Höhenlage der Unter-/Oberkante Bodenplatten (Stichtag: 20.07.2018), Teilfläche Ost

Anlage 1.7: Auswertung des Trends der Grundwasserstandsentwicklung (1960-2018) ausgewählter Messstellen nach dem Verfahren Grimmel-Strele

Anlage 1.8: Höhenplan (m NHN) auf Basis des digitalen Geländemodells (DGM)

Anlage 1.9: Grundwassergleichenplan (oberflächennah) mit Förderung (LEG). Basis: Stichtagsmessung vom 09.10.2014

Anlage 1.10: Grundwassergleichenplan (oberflächennah) ohne Förderung (LEG). Basis: Modellberechnung auf Stichtagsmessung vom 09.10.2014

Anlage 1.11: Flurabstandskarte ohne Förderung LEG (oberflächennah). Basis: Modellberechnung auf Stichtagsmessung vom 09.10.2014

Anlage 1.12: Grundwassergleichenplan bei zu erwartendem höchstem Grundwasserstand (zehGW). Basis: Modellberechnung auf Stichtagsmessung vom 09.10.2014

Anlage 1.13: Flurabstandskarte bei zu erwartendem höchstem Grundwasserstand (zehGW). Basis: Modellberechnung auf Stichtagsmessung vom 09.10.2014

Anlage 1.14: Grundwasserdifferenzenplan zehGW zu Situation mit Förderung LEG (Anlage 1.12 zu Anlage 1.9)

Anlage 1.15: Grundwasserdifferenzenplan zehGW zu Situation ohne Förderung LEG (Anlage 1.12 zu Anlage 1.10)

Anlage 1.16: Darstellung des Bezugraumes unter Berücksichtigung der Modellberechnungen und der Höhenlagen der Unter-/Oberkanten der Bodenplatten

Anlage 1.17: Variante 1: Grundwassergleichenplan [m NHN] (Rahmenbedingungen 24.05.2011, oberflächennah) mit Inbetriebnahme eines zentralen Förderbrunnens im Bereich der Grünfläche zwischen Bönnersdyk und Egerdyk (Modellberechnung)

Anlage 1.18: Variante 2: Grundwassergleichenplan [m NHN] (Rahmenbedingungen 24.05.2011, oberflächennah) mit Inbetriebnahme von zwei Förderbrunnen im Bereich der Grünfläche zwischen Bönnersdyk und Egerdyk (Modellberechnung)

Anlage 1.19: Variante 3: Grundwassergleichenplan [m NHN] (Rahmenbedingungen 24.05.2011, oberflächennah) mit Fortführung der Förderung in den Brunnen der LEG (Modellberechnung)

Anlage 1.20: Variante 4: Grundwassergleichenplan [m NHN] (Rahmenbedingungen 24.05.2011, oberflächennah) mit Inbetriebnahme eines zentralen Förderbrunnens im Bereich der Grünfläche Kliedbruch (Modellberechnung)

Anlage 1.21: Variante 5: Grundwassergleichenplan [m NHN] (Rahmenbedingungen 24.05.2011, oberflächennah) mit Inbetriebnahme eines zentralen Förderbrunnen im Bereich der Grünfläche zwischen Bönnersdyk und Egerdyk in Kombination mit Bestandsbrunnen 3 (Modellberechnung)

Anlage 1.22: Darstellung Wassereinzugsgebiet für Vorzugsvariante 3 (= Anlage 1.7 aus [8]).

Anlage 1.23: Darstellung des Wassereinzugsgebiet für Vorzugsvariante 5

Anlage 2: Grundwasserganglinien

Anlage 2.1: Grundwasserstandsentwicklung im Bereich Horkesgath (1904 bis 2018)

Anlage 2.2: Grundwasserstandsganglinie TB 15 (11.1959 bis 3.2019)

Anlage 2.3: Ausgewählte Ganglinien westlicher Zustrom (TB 15, P 108f, P 126f)

Anlage 2.4: Ausgewählte Ganglinien Bereich West (TB 15, P 411, P 413 und TB 12)

Anlage 2.5: Gegenüberstellung der Grundwasserstände ausgewählter Messstellen in XY-Diagrammen

1 Zusammenfassung

Im Bereich Krefeld-Inrath/Kliedbruch (Stadtbezirk Nord) wurden in den Jahren 1979–1981 von der Landesentwicklungsgesellschaft Nordrhein-Westfalen GmbH (LEG) 47 Einfamilien-Reihenhäuser gebaut. Die Unterkanten der Bodenplatten haben temporär Kontakt zum Grundwasser. Die Sicherung der Häuser gegen „drückendes" Grundwasser wurde von der LEG mit dem Betrieb einer Anlage zur Grundwasserabsenkung gewährleistet. Im Jahr 2015 hat die LEG entschieden, die Gebäude nachträglich gegen drückendes Wasser abzudichten. Die Maßnahme wird Anfang 2020 abgeschlossen und die Grundwasserabsenkung wird im Frühjahr 2020 beendet.

Infolge der Einstellung der Grundwasserabsenkung kann zukünftig ein Raum (Aussageraum gemäß **Anlage 1.2**) zwischen der Blumentalstraße im Westen und der Montessorischule im Osten betroffen sein in der Größenordnung von knapp 1,7 km^2, in dem die langjährigen Grundwasserstandschwankungen sich den natürlichen bzw. unbeeinflussten Grundwasserständen wieder annähern.

Auf der Basis eines Grundwassermodells lässt sich, für den Modellstichtag 09.10.2014, als Folge des Ausschaltens der Förderbrunnen ein um rund 0,4 m höherer Grundwasserstand, bezogen auf die Grundwasserstandsmessstelle TB 15, berechnen. Ohne die Förderungen der LEG in den vergangenen Jahrzehnten hätten sich im Aussageraum somit regelmäßig um rund 0,1 bis 0,4 m höhere Grundwasserstände eingestellt. Zukünftig muss also sowohl mit höheren Grundwasserständen wie auch mit einer zeitlichen Zunahme der Häufigkeit hoher Grundwasserstände gerechnet werden. Dabei werden sich die Grundwasserstände innerhalb des langjährigen Schwankungsbereiches der seit 1960 in diesem Raum dokumentierten Grundwasserstände bewegen bzw. führen gegenüber den bisher dokumentierten Grundwasserständen absolut nicht oder allenfalls nur zu gering höheren Wasserständen.

Die Auswertungen lassen die Prognose zu, dass sich mit der Einstellung der Förderung der LEG die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des Lastfalls „drückendes Wasser" im Aussageraum erhöht. Damit kann aber ausdrücklich nicht die Aussage verbunden sein, dass die Zunahme derartiger Lastfälle auch zu einem „Schadensereignis", sprich zu einem nassen Keller, führen wird. Wurden die Gebäude im Aussageraum mit einer DIN-konformen Abdichtung gegenüber drückendem Wasser erbaut, so sollten die prognostizierten Grundwasserstände auch nicht zu einem Lastfall führen.

Kenntnisse zur Art der Abdichtung der Gebäude gegenüber drückendem Wasser im Aussageraum bzw. zur Lage der Kellerbodenplatten liegen aber in der Regel nicht vor. Ausdrücklich

können aus den vorliegenden Untersuchungen damit keine Aussagen zu einzelnen Gebäuden oder Flurstücken abgeleitet werden.

Auf Basis der vorliegenden Auswertungen wie der Modellberechnungen ist zukünftig eine Kappung der Grundwasserspitzen ab einer NHN-Höhe von 31,40/31,50 m im Bezugsraum Bönnersdyk (**Anlage 1.16**) sinnvoll. Die Anhebung des Einsetzens einer Grundwasserkappung gegenüber dem aktuellen Betrieb der LEG-Anlage lässt erwarten, dass sich die Zeiträume, in denen aktive Grundwasserentnahmen erforderlich werden, statistisch betrachtet annähernd halbieren (von 60 % auf 30 % bezogen auf den Zeitraum 1960 bis 2018).

Für die Abschätzung der Investitions- und Betriebskosten wurden die Vorzugsvarianten 3 und 5 weiter betrachtet. Die mit beiden Varianten zu erwartenden jährlichen Betriebskosten im Anlagenbetrieb lassen sich mit 195.000 und 275.000 € brutto/Jahr abschätzen, wobei für Variante 5 geringfügig niedrigere Betriebskosten zu erwarten sind. Dabei sind in Bezug auf die Dauer des Anlagenbetriebes gegenüber der LEG jedoch geringere aktive Zeiträume zu erwarten. Weiterhin werden kurz- und mittelfristig in nicht unerheblichem Umfang Investitionskosten (**Tabelle 28**) anfallen.

Mit einer Fortführung der Grundwasserentnahmen würde man auf Basis des jetzigen Kenntnisstandes „vorsorgend“, räumlich pauschal und ohne konkretes Wissen um mögliche Schadensereignisse (Lastfall), handeln.

Parallel hierzu sollte die reale Betroffenheit der Gebäude im Aussageraum jedoch durch eine ingenieurtechnische Erfassung und Bewertung der Höhenlagen der Bodenplatten wie auch der Schutz der Kellerräume gegenüber drückendem Wasser erfasst und beurteilt werden. Mit einer individuellen Überprüfung würde sich die „Betroffenheit“ räumlich eingrenzen lassen und man könnte dann konkrete Maßnahmen für die Gebäude / Räume ergreifen, die eine reale „Betroffenheit“ aufweisen. Eine auf Dauer angelegte Kappung der Grundwasserspitzen für einen Raum von knapp 1,7 m^2 könnte dann ggf. zeitlich befristet eine Übergangslösung bieten.

2 Vorgang

2.1 Anlass

Im Bereich der Straßen Rislerdyk, Bönnersdyk und Wallenburgdyk in Krefeld wurden in den Jahren 1979–1981 von der Landesentwicklungsgesellschaft Nordrhein-Westfalen für Städtebau, Wohnungswesen und Agrarordnung GmbH (aktuell: LEG NRW GmbH) 47 Einfamilien-Reihenhäuser gebaut. Bei den Reihenhäusern liegen die Unterkanten der Bodenplatte so niedrig, dass sie temporär Kontakt zum Grundwasser haben. Die Sicherung der Häuser gegen „drückendes" Grundwasser wurde von der LEG NRW GmbH (nachfolgend LEG) in der Vergangenheit mit dem Betrieb einer Anlage zur Grundwasserabsenkung gewährleistet.

Im Zuge der Grundwasserabsenkung betreibt die LEG aktuell zwei Förderbrunnen. Durch die Förderung werden die Grundwasserstände gegenüber dem natürlichen Grundwasserstandsniveau auf eine festgelegte NHN-Höhe abgesenkt, um die 47 Einfamilienreihenhäuser „trocken" zu halten.

Nach einer mittlerweile über 35 Jahre andauernden Absenkung der lokalen Grundwasserstände wurde seitens der LEG um 2015 entschieden, alle Häuser nachträglich gegen drückendes Wasser abzudichten. Diese Maßnahme wird Anfang 2020 abgeschlossen sein und die Grundwasserabsenkung soll beendet werden.

Die jährlichen Förderraten der letzten 10 Jahre schwankten zwischen 1 und 1,5 Mio. Kubikmeter pro Jahr. Das gehobene Grundwasser wird über eine etwa 3 km lange Druckleitung im Bereich der Straßenkreuzung Moerser Str. / Ecke Hökendyk einer Abreinigungs- und Enteisenungsanlage zugeführt und von hier in den Gewässerzug der Niepkuhlen eingeleitet. Die Abreinigungs- und Enteisenungsanlagen sind erforderlich, da eine geringfügige Beaufschlagung des Grundwassers mit LHKW vorhanden ist und da das Wasser geogen bedingt hohe Eisengehalte aufweist.

Mit der Einstellung der Grundwasserförderung wird sich der durch die Absenkung entstandene Absenktrichter um die Förderbrunnen zurückbilden. Damit werden die Grundwasserstände nach der Einstellung wieder auf das mehr oder weniger unbeeinflußtere Niveau des Umfeldes ansteigen und den natürlichen Schwankungen des Grundwassers unterliegen.

In Verbindung mit der Reduzierung weiterer betrieblicher Grundwasserentnahmen im Bereich der anstromig gelegenen Mittelterrasse seit den 1980 er Jahren ist zu erwarten, dass sich unter bestimmten Witterungsverhältnissen die hohen Grundwasserstände der 1960iger Jahre wieder einstellen, ja diese sogar überschritten werden. Für den südwestlich liegenden Zustrombereich

in der Mittelterrasse wurden bereits 2011 höhere Grundwasserstände als 1962 bzw. 1967 gemessen. Letztere wurden im Raum Krefeld in der Vergangenheit im Allgemeinen zur Bemessung von Gebäuden gegen drückendes Grundwasser zugrunde gelegt.

Mit der Einstellung der Grundwasserabsenkung durch die LEG ist zu erwarten, dass der „Raum" mit höheren Grundwasserständen auf der Mittelterrasse hier auch auf das Verbreitungsgebiet der Niederterrasse übergreift.

In Verbindung mit der Einstellung der Grundwasserabsenkung durch die LEG kann aktuell ein Raum zwischen der Blumentalstraße im Westen, dem Nassauer Ring, dem Josef-Brocker-Dyk und Hökendyk/Kanesdyk im Westen bis hin zur Montessori-Schule im Osten betroffen sein, in dem die Grundwasserstände sich den natürlichen bzw. unbeeinflußteren Grundwasserständen annähern. Für diesen Raum sind daher Vernässungsschäden an Gebäuden zukünftig zu befürchten.

2.2 Aufgabenstellung

Die seit Mitte 2017 regelmäßig stattfindenden Beratungen der Stadt Krefeld unter Beteiligung der Stadtverwaltung, der Politik und der Bürgerschaft über mögliche Varianten zum Schutz der Gebäude gegen drückendes Grundwasser haben ergeben, dass die Gründung einer Pumpengemeinschaft, die sich im Wesentlichen aus Beiträgen der ihr angeschlossenen Grundstückseigentümer finanziert, bevorzugt wird.

Um Klarheit über die technischen Möglichkeiten und deren Investitions- und Betriebskosten zu erhalten soll die hier vorgestellte Machbarkeitsstudie ausgearbeitet werden. Auf der Basis einer Bedarfs- bzw. Betroffenheitsanalyse soll mit der Studie geprüft werden:

- in welchen Gebieten die höchste Betroffenheit vorhanden ist,
- wie und in welchem Umfang die Gebäude gegenüber drückendem Wasser mit wasserwirtschaftlichen Maßnahmen geschützt werden können,
- mit welcher Pumpengeometrie und mit welchen Förderraten ein optimales Kosten-/Nutzenverhältnis dann erreicht werden kann.

Der Leitgedanke ist, dass durch die **Kappung von Grundwasserspitzen**:

- mit möglichst niedrigen Förderraten,
- ein möglichst großes Einzugsgebiet,
- bis zu möglichst großen Gründungstiefen

erfasst wird.

Zur Prüfung wird ein vorhandenes Grundwassermodell (Feflow), das 2011/2012 für die LEG aufgestellt wurde, aktualisiert und den neuen Rahmenbedingungen angepasst. Mit dem Modell können, unter Verschneidung der Ergebnisse aus einer Bedarfs- bzw. Betroffenheitsanalyse und den zu erwartenden höchsten Grundwasserständen auch hydraulische Maßnahmen in Form von Grundwasserhaltungsmaßnahmen modelliert werden.

Auf Basis des Grundwassermodells wie der Datenverarbeitung mittels GIS kann das Aufgabenspektrum auch zukünftigen Erfordernissen angepasst werden.

Dies erscheint insbesondere deswegen wichtig, da aufgrund der Datenlage nicht konkret feststellbar ist, ob überhaupt und wenn ja welche Häuser überhaupt von möglichen Vernässungsschäden betroffen sein werden.

Bei der Studie wird davon ausgegangen, dass die Anlagengeometrie mit der vorhandenen Ableitung des geförderten Grundwassers über die bestehende Druckleitung wie auch die aktuelle Einleitung des gehobenen Grundwassers in die Niepkuhlen am Hökendyk bestehen bleibt. Für die Abreinigungsanlage Hökendyk war damit zu prüfen, welche Anlagenteile der vorhandenen Anlagengeometrie sinnvoll weitergenutzt werden können.

Durch die in unserem Hause vorliegenden Erfahrungen mit der Betreuung der „LEG-Anlage“ über den Zeitraum der letzten 10 Jahre liegt eine große Erfahrung mit den lokal spezifischen Problemen des Betriebs der Gesamtanlage vor. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse fließen in die Zusammenstellung der zu erwartenden Betriebs- und Investitionskosten mit ein.

Alle Prognosen die diskutiert und erörtert werden, sind mit der Unsicherheit der künftigen Klimaentwicklung behaftet. Insbesondere sehr intensive Niederschlagsereignisse und Starkregen können gerade in einem Untersuchungsgebiet mit flurnahen Grundwasserständen sehr deutliche Grundwasserstandänderungen hervorrufen.

Ausdrücklich können aus den vorliegenden Untersuchungen keine Aussagen zu einzelnen Gebäuden oder Flurstücken abgeleitet werden.

3 Ausgangssituation Grundwasserabsenkung LEG

3.1 Chronologie

Seit Errichtung der Bebauung um 1982 muss das Grundwasser im Bereich der Straßenzüge Rislerdyk, Bönnersdyk und Wallenburgdyk in Krefeld bis auf die Grundwasserstandshöhen von maximal 30,8 m NHN gehalten werden. Anfangs wurde aus dem vorhandenen Brunnen 1, der ursprünglich für eine Wärmepumpe angelegt worden war, kontinuierlich Grundwasser zur Absenkung des Grundwasserspiegels entnommen und dem städtischen Regenwasserkanal zugeführt. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit wurden im Grundwasserzustrom am Rislerdyk 1987 ein Brunnen 2 mit einem dazugehörigen Steuerbrunnen 2 und im Jahr 2000 der Brunnen 3 mit dem Steuerbrunnen 3 eingerichtet. Der Brunnen 2 musste 2014 durch den Brunnen 2 neu ersetzt werden. Seit 2003 erfolgt eine Abreinigung des geförderten Grundwassers vor Einleitung in die Niepkuhlen bei Marcelli.

Im Erläuterungsbericht zum 3. Änderungsantrag zur Wasserrechtlichen Erlaubnis (Pr.-Nr.: KR 025/2011 RS) wird die Ausgangssituation detailliert dargestellt und im Folgenden chronologisch, ergänzt durch die Entwicklung nach 2012, wiedergegeben (**Tabelle 1**).

Tabelle 1: **Chronologische Entwicklung der Wasserhaltungsmaßnahme im Wohngebiet Rislerdyk, Wallenburgdyk und Bönnersdyk**

Zeit	Maßnahme
1979–1981	Errichtung des Wohngebietes Rislerdyk, Wallenburgdyk und Bönnersdyk
1982	Erstellung des Brunnen 1
1982	Betreiben einer Grundwasserförderanlage in Brunnen 1 zur Sicherung von Wohnbebauung gegen anstehendes Grundwasser. Das geförderte Wasser wird dem städtischen Regenwasserkanal zugeführt.
1987	Inbetriebnahme von Brunnen 2 zur Erhöhung der Betriebssicherheit.
1989	Wasserrechtliche Erlaubnis zur Betreibung der Grundwasserförderanlage und Einleitung in ein Oberflächengewässer (DIPL. ING. REINHARD TIMM (09.10.1989)).
1997	1. Änderungsantrag zur Wasserrechtlichen Erlaubnis (Dipl. Ing. Reinhard Timm vom 27.08.1997): Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit der Niepkuhlen – Nachtrag zum Wasserrechtsantrag für die Wasserhaltung „Rislerdyk – Bönnersdyk – Wallenburgdyk“ in Krefeld vom 12.10.1989 (befristet bis Ende 2018).
1997	Herstellung einer ca. 2,1 km langen Druckrohrleitung DN 300 vom Bönnersdyk bis zur Einleitstelle Graben 21 am Hökendyk.
2000	Einrichten des Brunnen 3 mit dem Steuerbrunnen 3 durch die SWK Aqua GmbH.
2001	Bei Kontrolluntersuchungen werden erstmals LHKW im Grundwasser festgestellt.
seit März 2003	Inbetriebnahme einer Strippanlage zur Abreinigung des mit LHKW beaufschlagten Wassers am Hökendyk vor Einleitung in die Niepkuhlen.

Zeit	Maßnahme
Herbst 2005	Durch die Untere Wasserbehörde wird eine Verockerung des Grabens unterhalb der Einleitung des Ablaufs der Strippanlage beobachtet.
2009	Erweiterung der Strippanlage um eine 2. Kolonne.
Herbst 2009	Der vorhandenen Strippanlage ist eine Enteisenungsanlage nachgeschaltet, von der aus die Einleitung des geförderten Wassers in den Graben 21 erfolgt.
April 2011	Aufgrund der in den letzten Jahren stetig gestiegenen Entnahmemengen fordert die Stadt Krefeld mit Schreiben vom 14.04.2011 die Erstellung eines Änderungsantrages für die wasserrechtliche Erlaubnis zur Förderung von Grundwasser und Einleitung in einen geeigneten Vorfluter.
2012	Einrichten verschiedener Datenlogger zur kontinuierlichen Überwachung der Grundwasserstände im direkten Umfeld.
26.09.2012	Erteilung der Wasserrechtlichen Erlaubnis durch die Stadt Krefeld mit einer Befristung bis Ende 2018.
25.10 bzw. 18.12.2012	Erteilung des 1. und 2. Änderungsbescheides zur Wasserrechtlichen Erlaubnis durch die Stadt Krefeld.
Frühjahr / Sommer 2013	Umbau der Grundwasseraufbereitungsanlage Hökendyk: Rückführung von gereinigtem Grundwasser aus dem Schlammstapelbecken in den Schwerkraftfilter inkl. Anpassung der elektronischen Steuerung. Einbau einer dritten Pumpe in den Container der Strippanlage.
Frühjahr/ Sommer 2014	Bau und Inbetriebnahme des Brunnens 2_{neu} und Stilllegung der Brunnen 1 und 2. Brunnen 2 wurde umfunktioniert zum Steuerbrunnen. Einrichten verschiedener Datenlogger zur kontinuierlichen Überwachung der Grundwasserstände im direkten Umfeld.
Frühjahr 2017 bis	Beginn der Tiefbauarbeiten zur nachträglichen Abdichtung der Gebäude durch die LEG. Voraussichtliche Fertigstellung Winter/Frühjahr 2020.
18.07.2018	Erteilung des 3. Änderungsbescheides zur Wasserrechtlichen Erlaubnis durch die Stadt Krefeld mit einer Befristung der Erlaubnis bis zum 31.12.2021.

3.2 Erlaubte Fördermengen

Mit Datum vom 26.09.2012 wurde mit dem 3. Änderungsantrag der Wasserrechtlichen Erlaubnis gemäß § 7 WHG vom 11.12.1998, zuletzt geändert mit dem 3. Änderungsbescheid vom Sommer 2018, zur Entnahme von Wasser aus dem Boden zu Sümpfungszwecken, Ableitung des Sümpfungswassers in geeignete Vorfluter die Zulassung folgender Grundwasserförderungen erlaubt:

- 160 m^3 pro Stunde (kurzzeitig 250 m^3/h),
- 3.600 m^3 pro Tag (kurzzeitig 6.000 m^3/h),
- 110.000 m^3 pro Monat (maximaler Monatswert 165.000 m^3),
- 1.320.000 m^3 pro Jahr (maximaler Jahreswert 1.500.000 m^3).

3.3 Grundwasserabsenkanlage Rislerdyk

Die Grundwasserabsenkanlage der LEG wird aktuell durch folgende Brunnen betrieben:

① **Brunnen 3 (Baujahr 2000) mit Q_{max}[1] von 2 x ca. 160 m^3/h**

② **Brunnen 2 neu (Baujahr 2014) mit Q_{max} von ca. 120 m^3/h**

Der Brunnen 3 ist seit dem Jahr 2000 der Hauptförderbrunnen und wird ergänzt um den 2014 neu eingerichteten Brunnen 2 neu. In **Abbildung 1** sind die Entnahmemengen über den Zeitraum 2000–2018 dargestellt.

Die Überwachung der Entwicklung der Grundwasserstände im direkten Umfeld der Förderbrunnen erfolgt über die in **Tabelle 2** aufgeführten Datenlogger.

Tabelle 2: Überwachung der Grundwasserstände im Umfeld der Grundwasserförderbrunnen der LEG durch Datenlogger

Messstellenbezeichnung	Lage der Messstellen	SLU online-Abruf Datenlogger	SLU manuelle Auslesung Datenlogger	NGN automatisiert Datenlogger
Stbr. 4	Wallenburgdyk 99	X		
RP 1	Bönners- /Ecke Wallenburgdyk	X		
RP 4	Wallenburgdyk 87		X	
P 1	Rislerdyk 20		X	
Stb2	Wallenburgdyk 32/50			X
Stb3	Spielplatz Rislerdyk			X
Stbr. 2 neu	Rislerdyk 34			X
Förderbrunnen 3	Grünfläche Rislerdyk			X
Förderbrunnen 2 neu	Parkplatz Rislerdyk			X

[1] Q_{max}: kein Dauerbetrieb

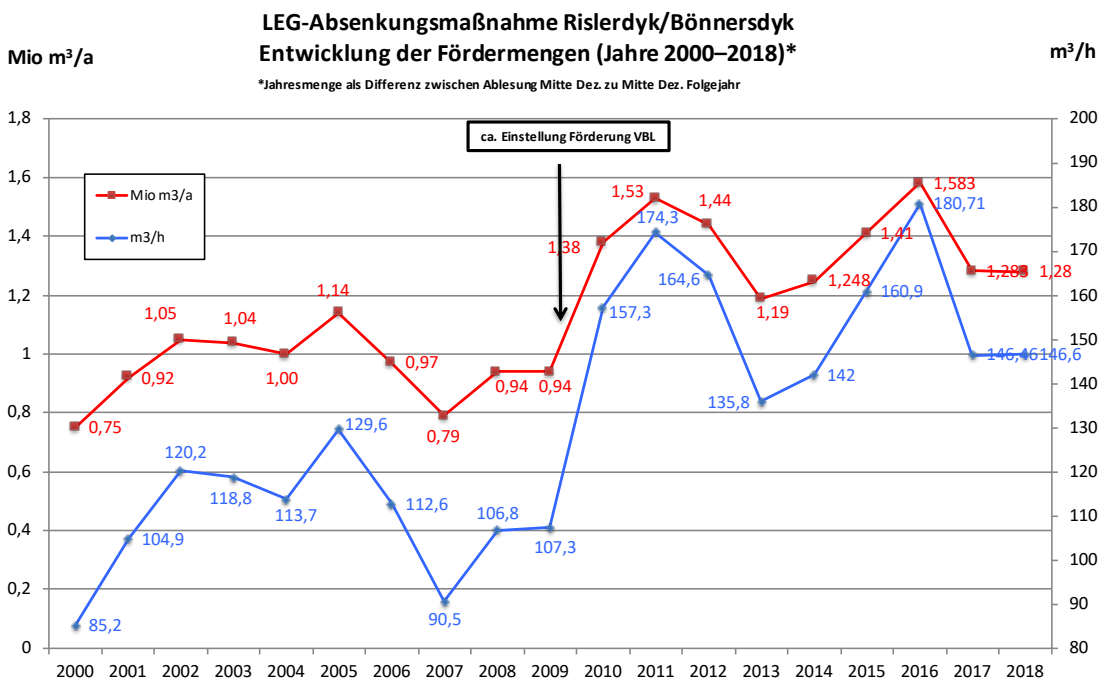

Abbildung 1: Entwicklung der Fördermengen 2000–2018

Neben den jährlichen Entnahmemengen werden hier auch die anhand der Jahreswerte berechneten mittleren Entnahmemengen pro Stunde dargestellt. Es wird deutlich, dass nach einer relativ stabilen Phase in den Jahren 2000–2009 ein sprunghafter Anstieg der Fördermengen im Zeitraum von 2009–2012 erfolgte. Das Maximum der Förderung lag im Jahr 2016 mit ca. 1.583.000 m³. Dies entspricht einer durchschnittlichen Fördermenge von 180,74 m³/h. Nach 2016 ist die Förderung witterungsbedingt auf 1,28 Mio. m³/a im Jahr 2018 zurückgegangen.

Die hohen Entnahmen der Jahre 2011 und 2016 sind auf witterungsbedingt steigende Grundwasserstände zurückzuführen. Die Entwicklung der Grundwasserstände wurde zusätzlich durch die Einstellung einer industriellen Brauchwasserentnahme im Zustrom zu der Fläche im Jahre 2008 verstärkt. Die mit rund 20 % unter dem langjährigen Mittel liegenden Jahresniederschläge im Jahr 2013 haben dann wieder zu einer Abnahme der Fördermengen auf rund 1,19 Mio. m³ bzw. 135,8 m³/h geführt.

Für den Zeitraum von 1984 bis 2000 sind jährliche Entnahmemengen zwischen 10.000 und 500.000 m³/a dokumentiert.

3.4 Abreinigung des geförderten Grundwassers

Das aus den Grundwasserbrunnen geförderte Grundwasser wird seit 1997 über eine Druckrohrleitung DN 300 dem Hökendyk-Graben und von dort über eine ca. 2,1 km lange Transportleitung

der Aufbereitungsanlage am Hökendyk zugeführt. Nach erfolgter Aufbereitung gelangt das Wasser über den Graben 21 in das nächstgelegene Oberflächengewässer, den Niepkuhlen in Krefeld-Verberg. Die hydraulische Leistungsfähigkeit der Transportleitung ist auf 300 m^3/h begrenzt.

Seit März 2003 erfolgt durch die installierte Strippanlage eine Abreinigung des mit LHKW beaufschlagten Wassers unter den festgelegten Grenzwert von 10 µg/l. Die Ableitung des behandelten Wassers erfolgt von dort in ein offenes Grabensystem (Graben Nr. 21 Hökendykgraben). Die Strippanlage wurde im Jahr 2009 aufgrund der steigenden Fördermengen mit einer zweiten parallel geschalteten Kolonne nachgerüstet.

Seit Herbst 2005 wurde durch die Untere Wasserbehörde eine Verockerung des Grabens unterhalb der Einleitung des Ablaufs der Strippanlage beobachtet. Der hohe Eisengehalt des Grundwassers führte zu Ablagerungen von Eisenoxid auf dem Sediment im offenen Grabensystem, welche zu einer nachhaltigen Veränderung der Gewässerbiozönose führen können.

Dies hatte zur Folge das im Jahr 2009 zur Behandlung des Wassers eine weitere Enteisenungsanlage installiert und der Strippanlage nachgeschaltet wurde. Somit können für Eisen (gesamt) Ablaufwerte von kleiner 0,5 mg/l eingehalten werden. Aus Kapazitätsgründen erfolgte auch hier ab den 2013 Jahren eine kontinuierliche Anpassung der Anlage.

Durch die Strippanlage, welche die leichtflüchtigen Kohlenwasserstoffe mit Luft aus dem Wasser entfernt, wird daneben auch das Eisen oxidiert und ausgefällt. Dies führt dazu, dass der Eisengehalt im Wasser verringert wird, sich jedoch auf den Füllkörpern der Strippluftkolonne ablagert. Als Folge verringern sich die Standzeit der Füllkörper sowie die Reinigungsleistung der Anlage. Des Weiteren wird das Eisen bei einer Belastungsänderung in der Strippanlage bzw. bei Anreicherung der Eisenausfällung aus der Anlage ausgetragen und gelangt so in das Gewässer.

Zusammenfassend ist die Aufbereitungsanlage auf folgende Leistungen ausgelegt:

- Transportleitung zur Aufbereitungsanlage mit 300 m^3/h,
- Strippanlage: 230 bis 240 (260 kurzzeitig) m^3/h über (2 Pumpen a 130 m^3/h),
- Ab 175 m^3/h Notüberlauf in Graben 21,
- Schwerkraftfilter: technische Bemessung 140 bis 150 m^3/h. Mögliche Betriebslast aus Erfahrungswerten im Anlagenbetrieb 200 m^3/h.

3.5 Erlaubte Einleitgehalte Vorflut

Gemäß wasserrechtlicher Erlaubnis wurde für die Ableitung des Sümpfungswassers die Einleitung in die Vorfluter Niepkuhlen genehmigt. Für die LHKW und das Eisen wurden seitens der Unteren Wasserbehörde der Stadt Krefeld folgende Einleitwerte festgelegt:

- LHKW: < 10 µg/l (seit März 2003),
- Eisen: < 0,5 mg/l (seit 2009).

3.6 Ausblick

Nach einer mittlerweile über 35 Jahre andauernden Absenkung der lokalen Grundwasserstände wurde seitens der LEG um 2015 entschieden, alle Häuser nachträglich gegen drückendes Wasser abzudichten. Diese Maßnahme wird Anfang 2020 abgeschlossen sein und die Grundwasserabsenkung soll dann beendet werden.

Aus vertragsrechtlichen bzw. Gründen der Gewährleistung der nachträglichen Abdichtung der Gebäude gegenüber den 47 Hausbesitzern ist die LEG verpflichtet die Pumpen für einen Zeitraum von einem Jahr außer Betrieb zu nehmen. Nach diesem Jahr erfolgt über einen aktuell nicht bestimmbaren Zeitraum eine vertraglich festgelegte Revision in den sanierten Häusern. **Erst nach dieser erfolgreichen Revision würden die Pumpen und übrigen Anlagen demontiert bzw. zurückgebaut.** Über den Gesamtzeitraum muss die komplette Anlagentechnik „betriebsbereit“ vorgehalten werden.

4 Durchgeführte Untersuchungen

4.1 Datenerhebung und -erfassung

In einem 1. Schritt erfolgte eine Sichtung, Wertung und Übernahme von Daten, die durch die Stadt Krefeld zur Verfügung gestellt wurden oder aber aus den diversen Berichten im Auftrag der LEG vorlagen. Im Wesentlichen wurden folgende Daten erhoben:

- Upgrade der aktuellen Anlagentechnik zur Pump- und Abreinigungsanlage der LEG,
- Upgrade der Grundwasserstandsdaten bis zum Stichtag März 2019,
- Aufstellen des digitalen Geländemodells (**Kapitel 4.3**),
- Räumliche Anpassung und Neukalibrierung des Grundwassermodells für den Zeitpunkt Mai 2011 auf der Basis ergänzender Grundwasserstände,
- Geologischer und hydrogeologischer Überblick,

- Darstellung der aktuellen Brunnen- und Anlagenkonfiguration,
- Aktuelle Fördermengen und deren Chronologie,
- Qualität des aktuell geförderten Wassers.

Die Datengrundlagen werden in einem GIS-Projekt als Basis für die weiteren Auswertungen dargestellt.

4.2 Eigentümerbefragung

Durch die Stadt Krefeld war im Sommer 2018 eine Anwohnerbefragung durchgeführt worden. Insgesamt wurde an 1.540 „Betroffene“ bzw. Eigentümer ein Fragebogen versendet, womit rund 1.267 Wohneinheiten abgedeckt wurden. Zum Stichtag lagen 563 Rückmeldungen vor. Dies entspricht einer Rücklaufquote von rund 44,5 %.

Mit dem Fragebogen wurden u.a. folgende Punkte abgefragt:

- mNHN-Höhe der Oberkante Erdgeschoßfußbodenplatte,
- Oberkante Kellerbodenplatte in m u. Oberkante Erdgeschossfußbodenplatte,
- Abschätzung der Stärke der Kellerbodenplatte.

Die Ergebnisse dieser Befragung wurden in dieser Studie lagemäßig in Karten aufbereitet (**Anlagen 1.4 bis 1.6**). Diese können allerdings aufgrund der Datenqualität nur als grobe Orientierung, da die Fragebögen zum Teil widersprüchliche Angaben enthalten oder auch nicht immer korrekt ausgefüllt wurden. **Aus den Auswertungen der Fragebögen können i.d.R. keine exakt verwertbaren Angaben zur Ausbildung einer Gebäudeabdichtung oder zur Höhenlage der Bodenplatten für ein konkretes Gebäude abgeleitet werden**.

4.3 Digitales Geländemodell

Das digitale Geländemodell basiert auf den über www.tim-online.de zur Verfügung gestellten Unterlagen vom April 2019. Dem Modell liegen nach der www.Bezreg-Koeln.nrw.de folgende Rahmenbedingungen zugrunde:

- Lage / Lageangabe: ETRS89/UTM32 (EPSG 25832),
- Höhe / Höhenangabe: DHHN2016 (EPSG 7837),

Die DGM`s werden seit 2012 im 6-Jahresturnus des Laserscanprogramms fortgeführt.

Die Genauigkeit und Ausprägung des DGM 1 wird wie folgt angegeben:

- Lage: Die Lage des Gitterpunktes liegt aufgrund der mathematischen Ableitung dieses Modells exakt vor,
- Höhe: +/- 2 dm,
- Punktverteilung regelmäßig (Gitter),
- Gitterweite: 1 m.

Alle Höhen-Angaben im folgenden Text beziehen sich ausdrücklich auf die Einheit mNHN (DHHN 2016).

Zu dem Höhenreferenzsystem sind aus unserer Sicht ergänzende Angaben wichtig, die im Zuge der Ausarbeitung der Studie aufgefallen sind.

In Verbindung mit der Wiedervereinigung wurde 1992 das Höhenbezugssystem auf das System DHHN92 umgestellt. In den meisten Bereichen der alten Bundesländer lagen die Differenzen zum vorherigen System (DHHN85) bei unter 1 cm. Im Jahr 2017 erfolgte dann die amtliche Einführung des Systems DHHB2016. Gegenüber dem System DHHN1992 liegen die Differenzen im Arbeitsgebiet bei + 10 bis 20 mm.

Insbesondere in Bezug auf die Angaben der Grundwasserstände können sich daraus Unstimmigkeiten ergeben. In Nordrhein-Westfalen werden vom Land Angaben zu Grundwasserstandsdaten unter www.elwasweb.nrw.de zur Verfügung gestellt oder können bei den verschiedenen Wasserverbänden (z.B. Erftverband, LINEG, Emscher-Genossenschaft) abgerufen werden.

Die aktuellen Höhen-Angaben für die Grundwassermessstellen unter www.elwasweb.nrw.de werden in mNHN (DHHN2016) angegeben. Mit der Umstellung auf das System DHHN2016 können die Angaben unter www.elwasweb.nrw.de um bis zu +2 cm von den Höhenangaben in mNN abweichen, die von den Betreibern direkt zur Verfügung gestellt werden. Sofern die Umstellung aus dem Jahr 1992 (DHHN92) nicht berücksichtigt wurden, kann die Abweichung dann weitere 2 cm betragen.

Dies ist konkret von Bedeutung, da die Angaben des höchsten gemessenen Grundwasserstandes für die hier als Referenzmessstelle herangezogene Messstelle TB 15 (LUA-Nr. 086567147) unter www.elwasweb.nrw.de mit 31,58 mNHN[2] angegeben wird, bei einem Abruf der Daten beim Betreiber der Messstelle (SWK aqua bzw. der LINEG) aber mit 31,54 mNN[3] angegeben werden.

[2] Online-Abruf: 02.01.2019
[3] Abruf am 07.12.2018

4.4 Datenbasis Grundwasserganglinien

Für die Auswertung der Entwicklung der langjährigen Grundwasserstände konnte auf folgende Datensätze zurückgegriffen werden:

- Linksniederrheinische Entwässerungsgenossenschaft (LINEG),
- NGN GmbH (vorher SWK aqua GmbH),
- Fachinformationssystem der Wasserwirtschaftsverwaltung des Landes NRW unter www.elwasweb.nrw.de,
- Koehne, W. (1953): Gutachten zur Wasserversorgung im Krefelder Raum, grundwasserkundlicher Teil.
- Strotmann, R. (1997): Hydrologische Auswirkungen der Siedlungsentwicklung auf den Wasserkreislauf am Beispiel der Stadt Krefeld über den Zeitraum 1800 bis 1995 – Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen.

Insbesondere Angaben zu Grundwasserständen aus dem Zeitraum vor 1950 finden sich in Strotmann (1997) und Koehne (1953).

4.5 Datenbasis Klima

Für die Auswertung der Entwicklung der klimatischen Einflussfaktoren konnte für den Zeitraum von 2001 bis Ende 2018 auf folgende Datensätze zurückgegriffen werden:

- Abruf aktueller Daten zur Station Tönisvorst (Stationsnummer 5064) über den Deutschen Wetterdienst (ww.dwd.de) über das climate data center (CDC).

Für den Zeitraum 1959 bis 2011 liegen die Daten für die Station Tönisvorst auf der Grundlage vorheriger Datenübermittlungen des DWD schriftlich vor.

4.6 Grundwassermodell

Für Bewertungen, Prognosen und Betrieb der Grundwasserabsenkanlage der LEG war im Auftrag der LEG im Bereich Rislerdyk, Bönnersdyk und Wallenburgdyk im Zeitraum von 2010 bis 2015 ein 3D-Grundwasserströmungsmodell (Feflow) aufgestellt worden.

Aufgrund des größeren Aussageraums wurde dieses Modell auf evtl. erforderliche Anpassungen (z.B. Modellgeometrie und Randbedingungen) geprüft und entsprechend räumlich erweitert. Basierend auf der im Mai 2011 durchgeführten Stichtagsmessung erfolgte zudem eine Kalibrierung/Validierung des Strömungsmodells auf der Grundlage aktueller bzw. vorliegender Stichtagsmessungen im Modellbereich und dessen Umfeld.

Mit dem angepassten Grundwasserströmungsmodell wurden zunächst verschiedene Modellberechnungen durchgeführt:

- Grundwassergleichenplan vom 09.10.2014 (**Anlage 1.9)**
- Grundwassergleichenplan vom 09.10.2014 ohne Grundwasserförderung durch die LEG (**Anlage 1.10**)

Die Konstruktion des Gleichenplanes zum **z**u **e**rwartenden **h**öchsten **G**rund**w**asserstand (zehGW) erfolgte zunächst auf Basis von in unserem Hause vorhandenen Unterlagen zu der langjährigen Entwicklung der Grundwasserstände einzelner Messstellen im Raum Krefeld. Unter Berücksichtigung dieser langjährigen höchsten Grundwasserstände aus den punktuellen Grundwasserganglinienauswertungen wurde der zehGW als Referenzsituation im Grundwassermodell **(Anlage 1.12)** abgebildet. Hierzu wurden auch alle bekannten Grundwasserentnahmen im Modellgebiet abgeschaltet. Lediglich die Entnahmen der am westlichen Modellrand gelegenen Wasserfassungsanlage 1 (Kempener Allee) der NGN ist in Betrieb. Anschließend wurden0 folgende Differenzenpläne **(Anlagen 1.14 und 1.15)** berechnet aus**:**

- Grundwassergleichenplan zum Stichtag 09.10.2014 (mit Förderung LEG) zum Gleichenplan zehGW
- Grundwassergleichenplan zum Stichtag 09.10.2014 (ohne Förderung LEG) zum Gleichenplan zehGW

Basierend auf dem digitalen Geländemodell (DGM) in **Anlage 1.8** konnten dann für die verschiedenen Zustände bzw. Stichtage sogenannte Flurabstandskarten (**Anlagen 1.11 & 1.13**) erstellt werden:

- Flurabstandskarte zum Stichtag 09.10.2014 (ohne Förderung LEG),
- Flurabstandskarte zehGW.

4.7 Bedarfserfassung und Betroffenheitsanalyse

Neben der konkreten Festlegung eines Aussageraumes (**Anlage 1.2**) war eine Betroffenheitsanalyse durchzuführen. Diese erfolgt durch die räumliche Verschneidung mittels GIS von folgenden Informationen:

- Berücksichtigung der Ergebnisse der Anwohnerbefragung (**Anlagen 1.4 bis 1.6**).
- Darstellung der Geländehöhen (DGM) im Bewertungsraum (**Anlage 1.8**),

- Erarbeitung eines Grundwassergleichenplanes zum Stichtag 09.10.2014 und mit den höchsten zu erwartenden Grundwasserständen (zehGW) als Referenzsituation (worst-case) (**Kapitel 8** sowie den **Anlagen 1.9, 1.10 und 1.12**)
- Verschnitt der Stichtagsmessung 09.10.2014 und des zehGW mit den Geländehöhen und Darstellung der Ergebnisse in Flurabstandskarten (**Anlage 1.11 und 1.13**)
- Grundwasserstanddifferenzenpläne (**Anlagen 1.14 und 1.15**)

Die Druckoberfläche der Gleichenpläne wird als 3D-Geometrie in das projektbegleitende GIS übernommen und hier mit dem DGM verschnitten. Durch den Verschnitt der Grundwasseroberflächen mit dem Geländemodell erfolgt für den Untersuchungsraum die Erstellung der Flurabstandskarten.

Basierend auf diesen Karten kann der Grad einer möglichen Betroffenheit von Räumen (Straßenzügen) bezüglich möglicher vernässungsbedingter Gebäudeschäden abgestuft ermittelt werden:

- Flurabstände kleiner 2,0 m,
- Flurabstände zwischen 2,0 und 2,75 m,
- Flurabstände größer 2,75 m,

4.8 Variantenbetrachtung

Auf Grundlage des vorliegenden Grundwassermodells sowie unter Berücksichtigung auch der Ergebnisse der Ganglinienauswertungen wurden fünf Varianten für optimierte Brunnenstandorte gerechnet (**Anlagen 1.17 bis 1.21**):

Variante 1: Einrichten eines zentralen Absenkbrunnens im Bereich des SE-NW verlaufenden Grünzuges zwischen Bönnersdyk und Egersdyk.

Variante 2: Einrichten von zwei Absenkbrunnen im Bereich des SE-NW verlaufenden Grünzuges zwischen Bönnersdyk und Egersdyk.

Variante 3: Weiterbetrieb der bestehenden LEG-Brunnen 2_{neu} und 3

Variante 4: Einrichten eines zentralen Absenkbrunnens im Bereich Grünzug Kliedbruch.

Variante 5: Weiterbetrieb des bestehenden LEG-Brunnen 3 und Einrichten eines zentralen Absenkbrunnens im Bereich des SE-NW verlaufenden Grünzuges zwischen Bönnersdyk und Egersdyk.

Allen Varianten ist gemeinsam, dass durch die Grundwasserabsenkung eine **Kappung von Grundwasserspitzen** erfolgt. Diese bedeutet gegenüber dem aktuellen Anlagenbetrieb der LEG:

- Eine Anhebung des Absenkzieles

und damit

- kein nahezu durchgehender Betrieb der Brunnen, da nur die temporär höheren Grundwasserspitzen erfasst werden müssen.

4.9 Machbarkeitsstudie

In Abstimmung mit der Stadt Krefeld wurde die Variante 3 als Vorzugsvariante ausgewählt. Weiterhin wurde Variante 5 parallel als Alternative hierzu berücksichtigt, um den Unterschied von beiden Varianten in Bezug auf die zu erwartenden Investitions- und Betriebskosten aufzuzeigen.

Für diese Variante wurden „Absenkungsszenarien“ berechnet. Die Darstellung der jeweiligen Brunnenstandorte und der Ergebnisse erfolgte anhand von Modellberechnungen in Grundwassergleichenplänen.

Auch bei einer Konkretisierung der Kenntnisse zur den relevanten Unterkanten der Einzelbauwerke behalten die oben genannten Szenarien ihre Aussagekraft im Rahmen der Machbarkeitsstudie. Die erforderlichen Entnahmeraten bei lokal abweichenden Absenkungszielen auf Basis des Grundwassermodells können zukünftig abgeschätzt werden.

In der Machbarkeitsstudie werden unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Betroffenheitsanalyse für die Vorzugsvarianten folgende Angaben gemacht:

- Bedarfsraum und Absenkziele,
- Art der Absenkung,
- Brunnenstandorte,
- Darstellung des zu erwartenden Grundwasserchemismus (auf Basis vorhandener Daten),
- Angaben zu Transport und Ableitung des gehobenen Grundwassers zur Aufbereitungsanlage,
- Angaben zur erforderlichen Abreinigung bzw. Aufbereitung des gehobenen Grundwassers vor Einleitung in die Niepkuhlen,
- Beschreibung der vorhanden nutzbaren Infrastruktur.

4.10 Abschätzung der Investitions- und Betriebskosten

Für die Vorzugsvarianten 3 und 5 werden in den **Kapiteln 13 und 14** folgende Kosten abgeschätzt:

- Investitionskosten der Anlagentechnik,
- Betriebs- und Wartungskosten,
- Kosten für die Optimierung der vorhandenen Anlagentechnik.

Der Abschätzung der Kosten liegen die aktuellen Erfahrungen mit der Grundwasserabsenkungsanlage der LEG zugrunde. Dabei gehen wir grundsätzlich davon aus, dass die Flächenverfügbarkeit für ggf. zu errichtende Anlagen bauseits gewährleistet ist. Ggf. erforderliche Grundstückskäufe oder Pachten sind bei der Abschätzung der Kosten nicht berücksichtigt.

4.11 Zeitschiene

Für die beiden Vorzugsvarianten ist in **Kapitel 15** die mögliche zeitliche Projektentwicklung aufgezeigt, die sich untergliedert in:

- konkretisierte Konzeptphase,
- Planungsphase,
- Genehmigungsphase,
- Ausführungsplanung mit Ausschreibung,
- Bauphase.

5 Anlagenbeschreibung LEG

Das Gesamtsystem setzt sich aus den folgenden Einzelanlagen zusammen:

- Grundwasserabsenkungsanlage mit zwei Förderbrunnen mit Q_{max}[4] Brunnen 3: 2 x 160 m^3/h und Brunnen 2 neu: 1 x 120 m^3/h,
- Druckleitung mit ca. 300 m^3/h (Bemessung),
- Grundwasseraufbereitungsanlage mit:
    - Strippanlage mit ca. 230 bis 240 m^3/h (Bemessung),
    - Schwerkraftfilter mit ca. 140 bis 150 m^3/h (Bemessung) bis maximal 200 m^3/h (Erfahrung).

Im Folgenden wird ein Überblick über die einzelnen technischen Anlagen gegeben.

5.1 Grundwasserabsenkungsanlage

5.1.1 Technische Beschreibung der Grundwasserabsenkungsanlage

Zur Absenkung des Grundwassers stehen seit 2014 die Brunnen 2_{neu} und Brunnen 3 zur Verfügung. Der Brunnen 3 ist mit zwei Pumpen ausgestattet seit dem Jahr 2000 der Hauptförderbrunnen.

Die Steuerung von Brunnen 3 erfolgt über den Steuerbrunnen 3. Die Förderleistung wird elektronisch geregelt und liegt bei minimal 65 m^3/h. Bei dem Erreichen eines Grundwasserstandes von 30,73 mNHN im Steuerbrunnen 3 wird im Brunnen 3 die Leistung so erhöht, dass im Steuerbrunnen 3 ein Grundwasserstand von 30,73 mNHN gehalten wird. Der Brunnen 2 neu wird über den Steuerbrunnen 2 betrieben, der bei einem Grundwasserstand von 30,75 mNHN einschaltet und mit einer Minimalförderung von 45 m^3/h läuft.

Die elektronische Steuerung von Brunnen 3 erfolgt über den Steuerbrunnen 3 unter aktuell folgenden Bedingungen:

- Ausschalten des Brunnens 3 bei einem Grundwasserstand im Steuerbunnen 3 von kleiner 30,50 mNHN,
- Inbetriebnahme des Brunnens 3 mit einer Fördermenge von 50 bis 60m m^3/h bei einem Grundwasserstand im Steuerbunnen 3 von 30,50 bis 30,73 mNHN,

[4] Qmax: kein Dauerbetrieb

- Erhöhung der Fördermenge in Brunnen 3, ggf. unter Zuschaltung der zweiten Pumpe, bei einem Grundwasserstand im Steuerbunnen 3 von größer 30,73 mNHN mit dem Ziel der Einhaltung eines Grundwasserstandes in Steuerrbunnen 3 von 30,73 mNHN.

Der Brunnen 2 neu wird analog betrieben über den Steuerbrunnen 2. Von Anfang September bis Mitte Oktober 2019 erfolgt aufgrund der niedrigen Grundwasserstände alleine der Betrieb über Brunnen 3.

Durch die NGN GmbH (vormals SWK aqua GmbH) wurde das System in den letzten Jahren auf eine vollautomatische Steuerung umgestellt. Die Kontrolle der Fördermengen und der Entwicklung der Grundwasserstände in den Steuerbrunnen wird über Datentransfer an die NGN übertragen, so dass hier heute jederzeit eine visuelle Kontrolle erfolgen kann.

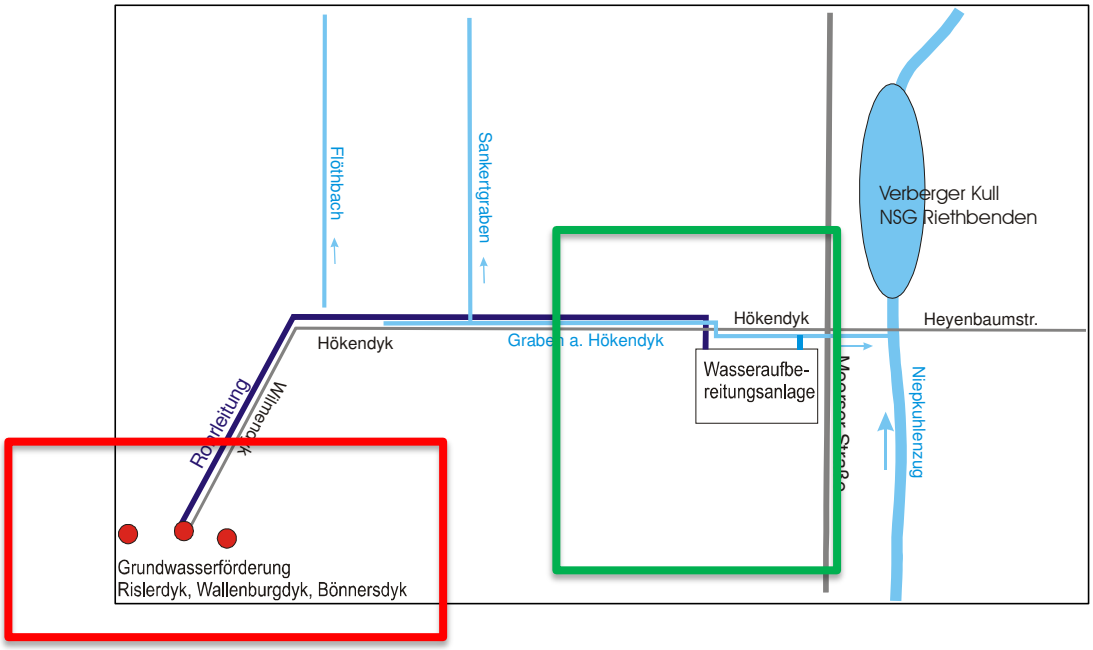

Abbildung 2: Systemskizze Grundwasserabsenkung inkl. der Aufbereitungsanlage der LEG

5.1.2 Förderbrunnen

Die Brunnen sind folgendermaßen ausgebaut:

Brunnen 2neu (ab 2014): Vertikalfilterbrunnen; 16 m Tiefe, 600 mm Bohrdurchmesser, Ausbau DN 400, 8 m Filterstrecke (Edelstahl-Wickeldrahtfilter) von 7 m bis 12 m u. GOK, Sumpfrohr von 12 m bis 15 m u. GOK,

Steuerbrunnen 2 (ab 2014): Vertikalfilterbrunnen; 15 m Tiefe, 600 mm Bohrdurchmesser, Ausbau DN 360 PVC, 8 m Filterstrecke von 5 m bis 13 m u. GOK, Sumpfrohr von 13 m bis 15 m u. GOK,

Brunnen 3 ab 2000: Vertikalfilterbrunnen; 17 m Tiefe, ca. 1.000 mm Bohrdurchmesser, Ausbau DN 750 V2A SW 1,25 mm, Filterstrecke von 7 m bis 13 m u. GOK, von 13 bis 16 m u. GOK Sumpfrohr mit Pumpe,

Steuerbrunnen 3: 11,1 m Tiefe, 324 mm Bohrdurchmesser, Ausbau DN 125 PVC, 9 m Filterstrecke. *Laut Bohrprofil bis zur Bohrendteufe von 30 m u. GOK kein Interglazial.*

Die technischen Daten der in den Brunnen 2_{neu} und 3 eingebauten Pumpen ist **Tabelle 3** zu entnehmen. Im Brunnen 3 stehen zwei Pumpen zur Verfügung. Im stillgelegten Brunnen 2_{alt} befindet sich aktuell noch eine Pumpe.

Tabelle 3: Technische Daten der in den Förderbrunnen eingebauten Pumpen (nach Mitteilung der NGN GmbH)

Bezeichnung	Einbaudatum	Baujahr	Hersteller	Pumpentyp		Q_{nenn}	H_{nenn}	Motortyp	P_{nenn}
Br. 3/1	10.07.2018	2011	KSB	UPA	250C-150 / G	163	26	UMA 150 D 18/21	16,0
Br. 3/2	13.06.2014	2013	KSB	UPA	250C-150 / 1b	162	30	UMA 150 D 18/21	16,0
Br. 2 neu	12.12.2018	2015	Melotte	M	1H111zt	120	30	TPDR 22,5	16,5
Br. 2 alt	05.03.2013	1985	Pleuger	PN	83-2	80	39	M6-56	13,5

5.1.3 Rohwasserbeschaffenheit

Als charakteristisch für die Rohwasserbeschaffenheit im Bereich der Brunnenanlage der LEG können die Rohwasseranalysen an den Brunnen 1 bis 3 aus dem Jahr 2015 angesehen werden. Das geförderte Rohwasser wies am 15. Dez. 2011 einen pH-Wert zwischen 6,74 und 6,82 auf. Während der Einleitgrenzwert für Eisen (= 0,5 mg/l) beim Br. 2_{neu} bereits im Förderwasser eingehalten wird, waren die Werte von Br. 1 und Br. 3 mit 0,52 bzw. 2,35 mg/l leicht erhöht. Ebenfalls geringfügig erhöht waren bei diesen Brunnen die Mangan-Konzentrationen mit Werten zwischen 1,18 bis 1,88 mg/l. Eine Verunreinigung mit anderen Schwermetallen liegt in keinem der Brunnen vor. Auch die BTEX- sowie die Nitrat- und Nitritkonzentrationen sind bei allen drei Brunnen unauffällig.

Für den **Summenparameter LHKW** wurden im Brunnen 2_{neu} und Brunnen 3 Konzentrationen von 23,4 bzw. 21,1 µg/l ermittelt. Hauptkomponenten der Belastung waren – in ungefähr gleichen Anteilen – die Parameter Tetrachlorethen und Trichlorethen. Frühere Untersuchungen der

Förderbrunnen ergaben deutlich höhere LHKW-Gehalte (max. 290 µg/l). In den vergangenen Jahren zeigte sich aber eine abnehmende Tendenz der LHKW-Konzentrationen im Rohwasser. An Brunnen 2 neu wurden z.B. im Dez. 2018 noch 11 µg/l (**Tabelle 4**) ermittelt.

Die Prüfung der Rohwasserbeschaffenheit der Förderbrunnen wurde im Auftrag der LEG von der NGN GmbH durchgeführt. Die Beprobung am Brunnen 2 neu fand letztmalig im November 2018 statt.

Tabelle 4: Ergebnisse der laborchemischen Untersuchungen am Grundwasser Brunnen 2_{neu} vom Dez. 2018

Parameter	Brunnen 2 neu
Blei	< 0,001 mg/l
Cadmium	< 0,0003 mg/l
Chrom	< 0,0005 mg/l
Zink	0,05 mg/l
Eisen ges.	2,2 mg/l
Mangan	1,41 mg/l
Magnesium	8,8 mg/l
Nitrat	12,3 mg/l
Nitrit	0,03
Ammonium	0,1 mg/l
Calcium	119 mg/l
Carbonathärte	4,53 mg/l
Gesamthärte	3,36 mmol/l
Sulfat	135 mg/l
Chlorid	49 mg/l
PAK (TrinkwV)	0,000006 mg/l
Summe LHKW	0,011 mg/l

Darüber hinaus führt die Dr. Strotmann Umweltberatung GmbH seit Nov. 2011 eine **monatliche Kontrolle** der LHKW- und Eisengehalte an der Aufbereitungsanlage Hökendyk im Roh- und Reinwasser sowie an der Einleitstelle durch. Die Ergebnisse dieser Kontrollen werden dem Fachbereich Umwelt der Stadt Krefeld monatlich in Form von **Statusberichten** zugestellt. In den **Abbildungen 3 und 4** sind die Ergebnisse der Beprobungen dargestellt.

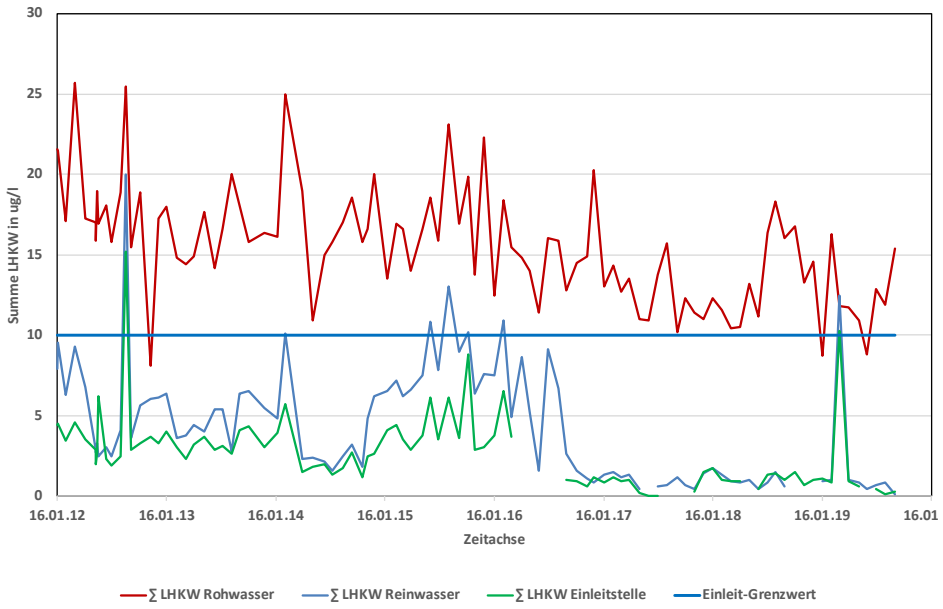

Abbildung 3: Entwicklung der LHKW-Gehalte Abwassereinigungsanlage (2012 bis 9.2019)

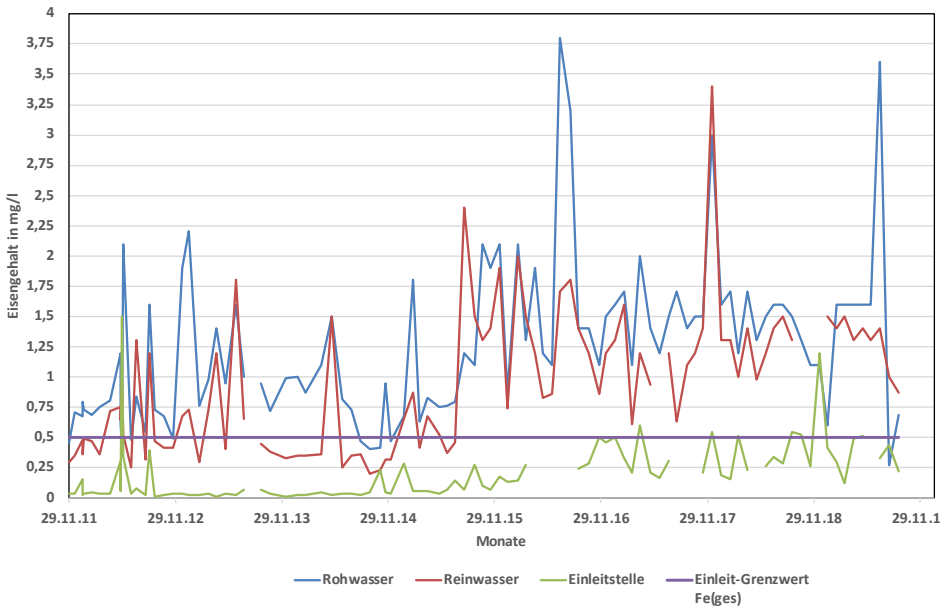

Abbildung 4: Entwicklung der Eisen-Gehalte Abwassereinigungsanlage (2012-9.2019)

5.2 Aufbereitungsanlage

Seit März 2003 erfolgt durch die installierte Strippanlage eine Behandlung des LHKW-haltigen Grundwassers. Die Strippanlage wurde im Jahr 2009 mit einer zweiten, parallel geschalteten Kolonne nachgerüstet. Im Jahr 2009 wurde darüber hinaus zur Behandlung des Wassers auf Eisen eine Enteisenungsanlage installiert und der Strippanlage nachgeschaltet. Seit 2014 wurden weitere Umbauarbeiten zur Kapazitätsanpassung durchgeführt. Ein Fließschema der Aufbereitungsanlage zeigt **Abbildung 5**.

Das zu reinigende Grundwasser wird über die Transportleitung direkt dem Vorlagebehälter B1 zugeführt. Von dort wird das Wasser über drei frequenz- und niveaugeregelte Zwischenpumpen den parallel geschalteten Strippkolonnen (K1 und K2) weiter geleitet. Das gereinigte Wasser aus dem zweiten Strippturm wird im freien Fall in den Sumpf des ersten Strippturms geleitet, von wo aus es im freien Gefälle in den Vorlagebehälter der Enteisenungsanlage (F 1) gelangt. Bei Wassermengen ab 175 m^3/h erfolgt ein Teilabschlag des Wassers nach Durchlauf durch die Strippanlage in den Graben Hökendyk (G21). Vom Vorlagebehälter F 1 wird das Wasser dem Schwerkraftfilter der Enteisenungsanlage (F 2) zugeführt. Von diesem wird es abschließend über den Graben 21 der ca. 100 m östlich gelegenen Vorflut Niepkuhlen zugeleitet. Die Einleitstelle befindet sich nach Umbauarbeiten im Kreuzungsbereich unterhalb der Moerser Straße. Ein Teil der Rückstände wird über den Behälter F 3 dem Schmutzwasserkanal in der Moerser Straße zugeführt.

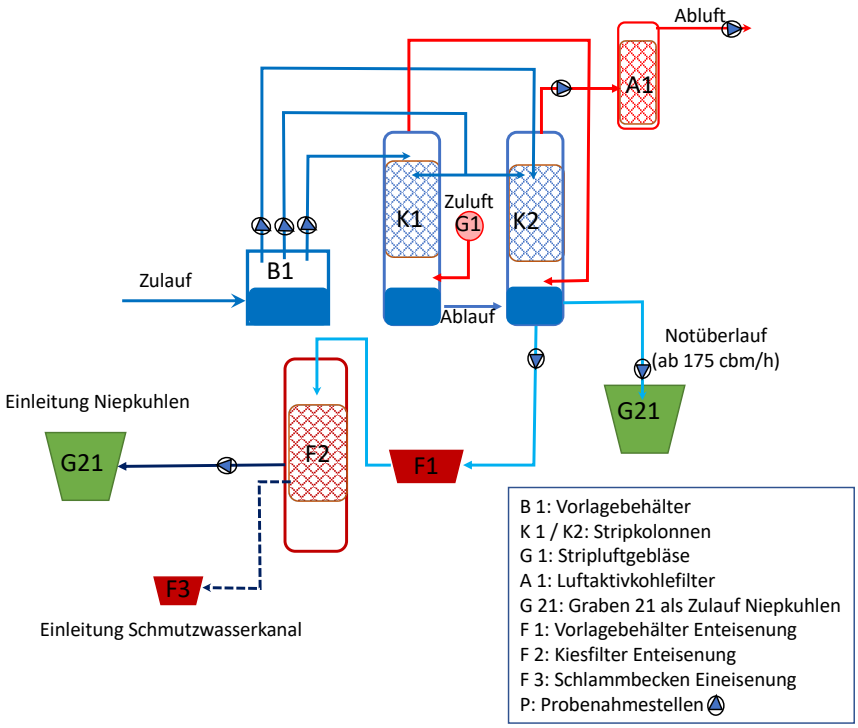

Abbildung 5: Grundfließbild der Wasseraufbereitungsanlage

Die einzelnen Verfahrensschritte werden im Folgenden näher erläutert.

5.2.1 Steuerung/Regelung

Beim Betrieb der Grundwasseraufbereitungsanlage ist zwischen den Anlagenteilen:

- Strippanlage,
- Enteisenungsanlage

zu unterscheiden.

Der Betrieb beider Anlagenteile ist automatisiert und sowohl die Strippanlage als auch die Enteisenungsanlage sind mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) ausgerüstet, die zur NGN GmbH übertragen wird. Allerdings werden beide Anlagen im Einzelbetrieb gefahren und es gibt **keine auf die gesamte Aufbereitungsanlage abgestimmte Steuerung**.

Bei Anliegen einer Störung erfolgt eine automatische Alarmmeldung über:

- das Mobilfunknetz (Strippanlage mit Meldung an die Hölscher Wasserbau GmbH),
- Datennetz an NGN GmbH für die Enteisenungsanlage.

Aktuelle Anlagenbetreuer im Auftrag der LEG sind:

- Abreiniungsanlage Hökendyk: Firma Hölscher Wasserbau GmbH
- Brunnenanlage Bönnersdyk: NGN GmbH

5.2.2 Strippanlage (K1 und K2)

In den Strippkolonnen wird das Wasser über eine spezielle Verteilereinrichtung gleichmäßig über die Füllkörperschüttung verteilt. Das Wasser passiert dann von oben nach unten die Kolonne. Im Gegenstrom wird über ein Gebläse Luft in die Strippanlage eingeblasen. Die LHKW gehen aus dem Wasser in die Luftphase über und gelangen anschließend in den Luftaktivkohlefilter ($A1_t$). Die installierte Anlage besitzt drei Pumpen mit kurzzeitigen Maximalleistungen von jeweils bis zu 130 m^3/h. Sie ist damit insgesamt für einen Wasserdurchsatz von etwa 240 bis 260 m^3/h ausgelegt.

5.2.3 Luftaktivkohlefilter (A1)

Der Luftaktivkohlefilter behandelt die mit Schadstoffen belastete Abluft aus der Strippanlange, d. h. die sich in der Luft befindlichen LHKW-Schadstoffe werden an der Aktivkohle angelagert. So ist gewährleistet, dass über den Luftpfad keine Schadstoffexposition auftritt.

5.2.4 Schwerkraftfilter (F)

Zur Entfernung des im Grundwasser befindlichen Eisens ist als dritte Verfahrensstufe ein automatischer Schwerkraftfilter vorhanden. Das Wasser wird aus dem Vorlagebehälter (F1) in den Filter gepumpt.

Der Automatische Schwerkraftfilter (F2) besteht aus drei übereinander liegenden Kammern:

- Spülkammer,
- Rohwasserkammer,
- Filtratkammer.

Das Wasser fließt über den Zulaufbehälter in die Rohwasserkammer. Hier erfolgt die Abwärtsströmung durch das Filtermedium bestehend aus Filtersand. Die Rückhaltung des Filtermediums von der Filterkammer wird durch die Filterdüsen gesichert. In der Filterkammer sammelt sich das filtrierte Wasser und steigt über die Standrohre in die Spülkammer. Hier wird das für die Rückspülung erforderliche Wasser zwischengespeichert.

Die abfiltrierbaren Stoffe setzen sich in der Filterschicht ab. Mit zunehmendem Absetzen der filtrierbaren Stoffe erhöht sich auch der Druckverlust im Filterbett. Zum Ausgleich des Druckverlustes steigt das Wasser im Rückspülrohr an. Dessen Höhe ist so angelegt, dass bei Erreichen des maximalen Druckverlustes die Rückspülung eingeleitet wird.

Die bei der Rückspülung kurzzeitig anfallenden Spülwassermengen, werden in einem ca. 50 m^3 fassenden Pufferbehälter (F 3) zwischengespeichert und rückgespült. Eine geringe Menge wird über eine Druckleitung in die Schmutzwasserkanalisation in der Moerser Straße eingeleitet.

Die installierte Anlage ist mit rund 140 bis 150 m^3/h bemessen. Nach Erfahrungswerten im Betriebszustand sind kurzfristig auch 180 bis 190 m^3/h möglich.

5.2.5 Probenahmestellen

Zum Betrieb der Anlage, zur Beurteilung der Qualitäten des Wassers und der Reinigungsleistung der Anlage, sind an verschiedenen Orten der Anlage repräsentative Probenahmestellen installiert, um eine angepasste Analytik durchzuführen. Folgende Probenahmestellen sind vorhanden:

- im Zulauf zur Strippkolonne K1,
- im Zulauf zur Strippkolonne K2,
- vor und nach dem Luftaktivkohlefilter,
- Einleitstelle Notüberlauf Graben 21,

- nach dem Schwerkraftfilter.

Die Probenahmestelle der Einleitstelle wurde im Zuge der Straßenbaumaßnahme Marcelli ab 2017 unter die Moerser Straße verlegt und ist ohne weitere Schutzmaßnahme nicht erreichbar. Eine Dokumentation zum Einlaufbauwerk wurde nach unserem Kenntnisstand nicht erstellt. Aus diesem Grunde wurde 2017 die Probenahmestelle P 4 nach dem Schwerkraftfilter eingerichtet.

Wasserrechtliche Relevanz weisen die Proben nach der Strippanlage bzw. dem Schwerkraftfilter auf. An diesen Messstellen sind die in der Wasserrechtlichen Erlaubnis genannten Überwachungswerte einzuhalten.

5.2.6 Mengenmessung

Die Messung der behandelten Wassermengen erfolgt über einen magnetisch-induktiven Durchflussmesser (MID). Dieser ist im Zulauf zur Strippanlage installiert. Die Messgrößen werden angezeigt und registriert.

5.2.7 Platzbedarf

Für die Aufstellung der Anlage ist eine befestigte Fläche von rd. 430 m^2 vorhanden.

5.2.8 Einleitung in die Niepkuhlen

Unmittelbar an den Schwerkraftfilter schließt sich die Einleitstelle des behandelten Grundwassers in den Graben 21 (Hökendykgraben) unterhalb der Moerser Straße an. Von der Einleitstelle wird es abschließend der ca. 100 m östlich gelegenen Vorflut Niepkuhlen zugeleitet.

6 Allgemeine Standortverhältnisse

6.1 Lage

In Abstimmung mit der Stadt Krefeld wurde ein Bearbeitungsraum von **rund 3,3 km²** festgelegt, der sich grob orientiert an folgenden Straßenzügen (**Anlage 1.2**):

- Blumentalstraße im Westen,
- Nassauer Ringe im Süden,
- Niepkuhlenzug im Osten,
- Voithstraße / Ecke Inrather Straße zum Niepkuhlenzug bei Riethbenden im Norden.

Innerhalb dieser Fläche ist die Nutzung i.W. durch eine Wohnraumnutzung charakterisiert, die aus Einfamilienreihenhäusern und freistehenden Einfamilienhäusern besteht. Die Fläche lässt sich durch den etwa SO-NW verlaufenden Grüngürtel „Kliedbruch“ mit dem Sankertgraben und Blumenholz- bzw. Kliedbruchgraben in ein Gebiet „West“ und „Ost“ unterteilen.

6.2 Klima

Das Klima im Raum Krefeld besitzt maritimen Charakter mit kontinentalen Einflüssen und ist in der Regel durch mild-feuchte Winter und warm-feuchte Sommern gekennzeichnet. Einen Überblick über Niederschlagshöhen und Temperaturen im Raum Krefeld zeigt **Tabelle 5**.

Tabelle 5: Niederschlagsmengen und mittlere Temperaturen Station Tönisvorst (hydrologische Jahre mit November bis Oktober)

Mittelwert	1961 – 1990 Referenzperiode	1955 - 2019
Niederschlag (mm)	790	758
Temperatur (°C)	10,01	10,42

Der mittlere Jahresniederschlag über den Zeitraum der hydrologischen Jahre von 1955 bis 2019 lag bei etwa 759 mm. Im Winterhalbjahr fielen durchschnittlich 352 mm und im Sommerhalbjahr 417 mm Niederschlag. Die maximalen Jahresniederschläge wurden mit 1053 mm im Jahr 1966, die geringsten Niederschläge mit 455 mm im Jahr 1973 ermittelt. Die langjährigen monatlichen mittleren Niederschläge weisen ein Hauptmaximum in den Monaten Juni bis August auf. Die geringsten Niederschläge fallen in den Monaten Februar bis April. Die höchsten

Niederschläge eines Monats wurden mit 228 mm im August 2010, die niedrigsten im April2007 mit 0 mm gemessen.

Die Menge des Niederschlagswassers steht nicht alleine der Grundwasserneubildung zur Verfügung. Neben dem Oberflächenabfluss ist für Untersuchungen zum Wasserhaushalt eines Gebietes und die langjährige Entwicklung der Grundwasserstände die Verdunstung bzw. Evapotranspiration von Bedeutung. Wie alle klimatischen Parameter unterliegt sie jahreszeitlich bedingten Schwankungen.

Die Berechnung der langjährigen monatlichen potentiellen Verdunstung kann über die Formel von HAUDE erfolgen, in der neben den Niederschlagshöhen auch die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit berücksichtigt werden.

Die mittlere potentielle Jahresverdunstung nach HAUDE für die Referenzperiode 1961-1990 liegt bei 541 mm, über den Zeitraum von 1955 bis 2018 lag bei 585 mm. Im Winterhalbjahr lag die mittlere potentielle Verdunstung bei durchschnittlich 129 mm und im Sommerhalbjahr bei 412 mm (Referenzperiode). Der Anteil der Verdunstung im Sommerhalbjahr an der Jahresverdunstung liegt aufgrund der höheren Temperaturen mit ca. 76 % erwartungsgemäß hoch. Die maximale potentielle Verdunstung wurde im Juli 2018 mit ca. 200 mm, die geringste potentielle Verdunstung mit ca. 4 mm im Dezember 1970 ermittelt. Die Verdunstung hat sich klimatisch bedingt in den letzten Jahren erhöht.

6.3 Klimatische Wasserbilanz

Die Berechnung der klimatischen Wasserbilanz stellt ein relativ einfaches Mittel dar, um überschlägig die Höhe der Grundwasserneubildung zu bestimmen. Sie entspricht vereinfacht der Differenz aus den Niederschlagshöhen zu der Verdunstung. Sie wurde für den Zeitraum von 1955 bis 2019 monatlich ermittelt. Für die hier vorgestellte Wasserbilanz bleibt der Feuchtehaushalt des Bodens unberücksichtigt.

Die Berechnung ergibt für alle Monate außerhalb der Vegetationszeit - Oktober bis April - einen Wasserbilanzüberschuss. Die klimatische Wasserbilanz ist im langjährigen Mittel der Jahre 1961 bis 1990 (Referenzperiode) mit 254 mm positiv. Der Wasserüberschuss ist alleine auf die hydrologischen Wintermonate (250 mm) zurückzuführen; in den Sommermonaten lag diese bei 5 mm im Mittel ein Defizit vor. Über Zeitraum von 1961 bis 2019 zeigt die Wasserbilanz bezogen auf das Gesamtjahr, wie auch für die Winter-und Sommerhalbjahre einen deutlich abnehmenden Trend (**Abbildung 6**).

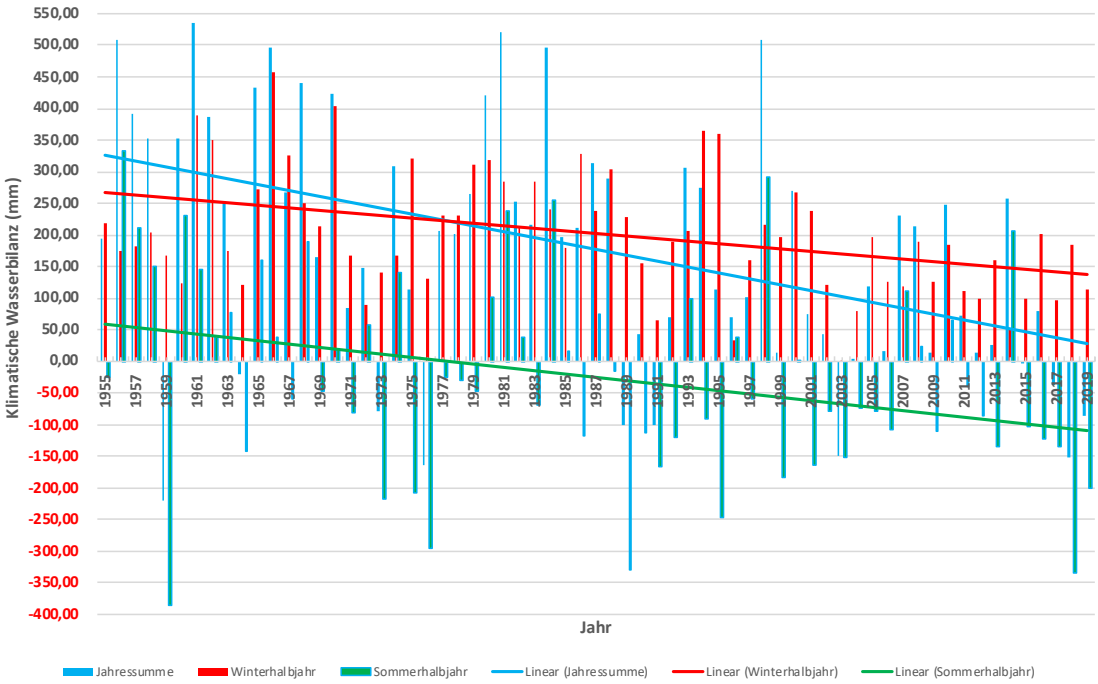

Abbildung 6: Entwicklung der klimatischen Wasserbilanz (1955-2019)

6.4 Morphologie

Ausgehend von der Blumentalstraße im Westen mit Geländehöhen zwischen 34,50 bis 35,00 mNHN fallen diese nach Osten ab auf Höhen von:

- Wallenburgdyk /Ecke Bönnersdyk: 33,40 mNHN
- um Breitendyk 100: 32,70 mNHN
- Josef-Lenders-Dyk 33,20 mNHN
- Kliedbruchstraße 33,20 mNHN
- Minkweg: 33,10 mNHN
- Am Flohbusch: 32,70 mNHN

Gemäß dem digitalen Geländemodell (**Anlage 1.8)** liegen die mNHN-Höhen im Bereich des Grünzuges Kliedbruch, zum Niepkuhlenzug wie auch in den Bruchgebieten im Norden bei kleiner 32 bis 33 mNHN.

Die Siedlungsgebiete liegen aufgrund anthropogen bedingter Anschüttungen durchweg höher als die anthropogen wenig veränderten Grüngürtel. Dies ist für Siedlungsflächen mit ursprünglich flurnahen Grundwasserständen typisch, da im Zuge der Erschließung die Flächen

„höhergelegt“ wurden. Dieser „Urglaseffekt“ führt für die Siedlungsgebiete östlich des Grünzuges Kliedbruch zu Geländehöhen meist > 33 mNHN. Oftmals liegen die Gebäude dabei deutlich höher als die Straßenzüge. Lediglich eine Fläche im östlichen Minkweg und um den Graben Hohen Dyk zeigt Geländehöhen um 32,50 mNHN.

Westlich des Grünzuges Kliedbruch zeigt sich ein ähnliches Bild, wobei der Siedlungsraum hier häufig, durch die tiefer gelegenen Kleingartenanlagen, unterbrochen wird. Auch überwiegt insbesondere östlich des Breitendyk eine Geländehöhe zwischen 33,0 und 33,5 mNHN.

6.5 Geologischer und hydrogeologischer Überblick

Nach der Geologischen Karte Blatt C 4702 Krefeld, Maßstab 1: 100.000, lässt sich der Schichtenaufbau im Untersuchungsgebiet wie folgt zusammenfassen:

- bindige Hochflutablagerungen als Deckschichten,
- kiesige Sande der Niederterrasse,
- schluffige Tone bis tonige Schluffe der Holstein-Schichten (Interglazial),
- kiesige Sande der Unteren Mittelterrasse,
- schluffige Feinsande der Grafenberger Schichten des Oberoligozäns (Tertiär).

Die Terrassenablagerungen bilden den quartären Grundwasserleiter aus kiesigen Mittel- bis Grobsanden mit Einschaltungen von Feinkiesen und Feinsanden. Sie sind als gut durchlässiger Grundwasserleiter einzustufen. Die Quartärbasis liegt im zentralen Untersuchungsraum bei ca. 30 m u. GOK. Unterhalb der quartären Ablagerungen folgen die Grafenberger Schichten des Oberoligozäns. Dabei handelt es sich um marine, fossilführende Feinsande und Schluffe, die eine deutlich geringere Durchlässigkeit als der quartäre Grundwasserleiter aufweisen.

Die Grenze zwischen der Mittel- und Niederterrasse verläuft etwa am westlichen Rand des Arbeitsgebietes. Der Bereich Mittelterrasse ist gegenüber der Niederterrasse hier durch mindestens 2 m höhere Geländeoberkanten (**Anlage 1.8**) gekennzeichnet. Die Mittelterrasse weist gegenüber der Niederterrasse im Allgemeinen eine geringere Durchlässigkeit auf.

Nach der Ing.-Geol. Karte Krefeld (Blatt 4605) ist das Interglazial (Holstein-Ablagerungen) im Betrachtungsraum insbesondere im Osten flächig vorhanden. Die Holstein-Ablagerungen weisen im Untersuchungsraum erfahrungsgemäß eine Mächtigkeit zwischen 5 und 10 Metern auf. Sie wurden durch Erosionsprozesse bereichsweise wieder vollständig abgetragen. Das Untersuchungsgebiet liegt in einem Bereich, in dem das Interglazial im Westen auf einer Breite von rund

500 m nicht vorhanden ist. Nach Südosten vergrößert sich dieser Bereich auf bis zu 1.000 m. Östlich des Straßenverlaufes Breitendyk ist das Interglazial nach den vorliegenden Kartenunterlagen im Arbeitsraum in durchgehender Verbreitung vorhanden.

Im weiteren Zu- und näheren Abstrom des Untersuchungsgebietes ist der Grundwasserleiter durch die Einschaltung der schluffig-tonigen Holstein-Schichten (Interglazial) im Liegenden der Ablagerungen der Niederterrasse in ein oberes und ein unteres Teilstockwerk unterteilt, da die Holstein-Ablagerungen als Grundwassernichtleiter einzustufen sind.

Die Tiefenlage der Holstein-Schichten variiert stark. Im westlichen Bereich liegt es bei rund 20 m u. GOK, im östlichen Bereich bei rund 5 bis 10 m u. GOK. Die Einschaltung der Holstein-Schichten in den Terrassenkörper führt zu einer Querschnittsverengung des Grundwasserleiters. Das untere Teilstockwerk ist gespannt.

Am Standort der LEG-Anlage liegt folgender Schichtaufbau vor:

0,0 m u. GOK bis 0,8/2,9 m u. GOK	Auffüllung,
0,8 m u. GOK bis 1,4 m u. GOK	schluffiger Sand,
0,8/2,9 m u. GOK bis 7,1/31,6 m u. GOK	Wechsellagerung von Fein- bis Grobsand und Fein- bis Grobkies, quartäre Niederterrasse des Rheins,
> 31,6 m	feinsandige Schluffe (Tertiär).

6.6 Grundwasserfließrichtung

Das Einzugsgebiet des Grundwasserleiters im Raum Krefeld reicht über die Stadtgrenzen nach Westen und Süden hinaus. Im Westen und Südwesten wird das Einzugsgebiet von einem etwa Südost-Nord verlaufenden Scheitel, der Grundwasserscheide zwischen Rhein und Maas, begrenzt. Die Grundwasserscheide bildet die westliche und südliche Stadtgrenze unterirdisch nahezu nach.

Für das Gebiet wurden in der Vergangenheit verschiedene Grundwassergleichenpläne[5] konstruiert. Der als **Anlage 1.9** beiliegende Grundwassergleichenplan basiert auf einer Stichtagsmessung an diversen Grundwasserstandsmessstellen vom 24.5.2011, der zum Stichtag 09.10.2014

[5] Ein Grundwassergleichenplan stellt die Fließverhältnisse des Grundwassers für ein bestimmtes Gebiet dar. Grundwassergleichen sind Linien gleicher Grundwasserstände die auf eine Kartenebene projiziert werden.

mit den dann aktuellen Entnahmemengen berechnet wurde. Diese wurden auf Plausibilität geprüft und um Messungen der LINEG sowie den SWK Aqua ergänzt.

Das Grundwasser durchströmt das Arbeitsgebiet überwiegend mit einer nach Nordost bis Osten gerichteten Fließrichtung (**Anlage 1.9)**. Der Einfluss der Absenkungsmaßnahme der LEG spiegelt sich durch ein deutliches „zurückspringen“ der Grundwasserstandhöhen bis nahezu zum Grünzug Kliedbruch im zentralen Teil des Arbeitsgebietes wider. Die 31,25 m NHN Grundwassergleiche stellt den Kernbereich des Absenktrichters dar.

Insbesondere im Bereich Inrath und Kliedbruch (nördlicher Rand des Arbeitsgebietes) zeigte sich in zu anderen Stichtagen konstruierten Grundwassergleichenplänen eine für das südliche Hülser Bruch typische Hochlage des Grundwassers. Typisch sind auch die sehr geringen hydraulischen Gradienten nordöstlich der Maßnahme und die deutlich höheren Gradienten im Zustrom aus der Mittelterrasse. Bei den extrem hohen Grundwasserentnahmen Anfang 2011 reichte der Entnahmetrichter bis weit nach Norden.

Der Stichtag Mai 2011 selber repräsentierte einen über dem Median liegenden hohen Grundwasserstand. In der als Referenz herangezogenen Grundwasserstandsmessstelle TB 15 wurde in der Nachkalibrierung ein Wasserstand von 31,25 m NHN mittelt.

Statistisch gesehen liegen rund 80 % aller gemessenen Grundwasserstände für den Zeitraum Nov. 1959 bis März 2019 bei kleiner 31,05 mNHN und mehr als 96 % bei kleiner 31,25 mNHN (**Tabelle 6** und **Abb. 7**). Somit repräsentieren die zum Zeitpunkt Mai 2011 bzw. Oktober 2014 abgebildeten Grundwasserstandshöhen einen relativ hohen Grundwasserstand.

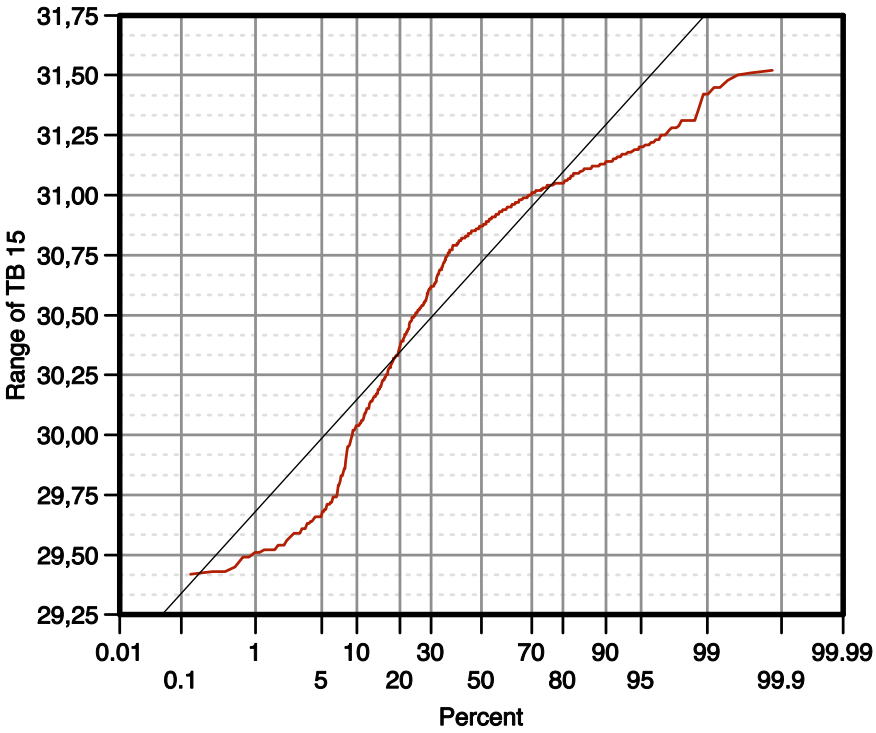

Abbildung 7: Prozentuale Verteilung der an Grundwassermessstelle TB 15 gemessenen Grundwasserstände (Nov. 1959 bis März 2019)

Bezogen auf das Arbeitsgebiet lassen sich für den Stichtag grobe folgende Einteilungen vornehmen:

- ausgehend von der Blumentalstraße im Westen bis zum Grünzug Kliedbruch liegen Grundwasserstände von 32,00/32,25 mNHN (Westen) bis 31,50 mNHN (Osten) vor,
- Höhe Kliedbruchstr. (Westen) um 31,35 mNHN bis 30,75/30,50 mNHN Höhe Moerserstraße im Osten.

Tabelle 6: Statistik für die an der Messstelle TB 15 gemessenen Grundwasserstände über den Zeitraum Nov. 1959 bis März 2019

Messwerte insg.	713
Mittelwert	30,72 mNHN
Median	30,87 mNHN
Varianz	0,20
Standardabweichung	0,40
Minimum	29,42mNHN
Maximum	31,54 m NHN

6.7 Flurabstände

Die Flurabstände zum Stichtag Oktober 2014 (ohne Förderung LEG) zeigt **Anlage 1.11**. Die Karte spiegelt die Geländehöhen wider.

Geringe Grundwasserflurabstände von < 1 m finden sich insbesondere im Bereich der Grünzüge. Im Bereich der Siedlungsräume westlich des Grünzuges Kliedbruch liegen diese weit verbreitet bei 1,0 bis 2,0 m bzw. im Siedlungsgebiet östlich des Grünzuges Kliedbruch auch auf bis zu 3 m ansteigend. Lediglich ganz im Westen des Arbeitsgebietes liegen im Verbreitungsgeiet der Mittelterrasse Flurabstände von > 3,5 m vor.

6.8 Hydrogeologische Kennwerte

Die im Folgenden gemachten Angaben beziehen sich i.W. auf Untersuchungen, die im Zusammenhang mit der Einrichtung der Förderanlage der LEG gewonnen wurden. Details sind in [8] zusammengestellt (Wasserrechtsantrag vom 20.03.2012).

6.8.1 Durchlässigkeitsbeiwerte aus Siebanalysen

Aus den im Jahr 1986 durchgeführten Aufschlussbohrungen zur Einrichtung der Steuerbrunnen 1 und 2 wurden Bodenproben entnommen, an denen Siebanalysen zur Ermittlung von Durchlässigkeitsbeiwerten (k_f-Werte) durchgeführt wurden. Die Auswertung der Sieblinien nach HAZEN und BEYER ergab k_f-Werte zwischen $4 \cdot 10^{-4}$ m/s und $2{,}6 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Die vertikale Durchlässigkeit zeigt dabei Schwankungen. Im Teufenabschnitt von 2,8 m u. GOK bis 10,0 m u. GOK liegen die nach BEYER berechneten Durchlässigkeiten im Mittel bei 4×10^{-4} m/s bis 8×10^{-4} m/s. Im Teufenniveau von 10 bis 14 m wurden mit 1×10^{-3} m/s bis 8×10^{-3} m/s die höchsten Durchlässigkeiten ermittelt. Bis zu einer Endteufe von 20 m nehmen diese geringfügig auf rund 8×10^{-4} m/s bis 9×10^{-4} m/s ab.

6.8.2 Pumpversuchsauswertung

Vom 25.05.1983 bis zum 01.06.1983 wurde im Brunnen 1 ein Pumpversuch mit einer Pumprate von 85 m^3/h bzw. 23,61 l/s durchgeführt. In den umliegenden Grundwassermessstellen P 1 bis P 6 wurde die Absenkung während des Pumpversuches ermittelt.

Das Absenkungsverhalten der Grundwassermessstellen wurde stark durch hohe Niederschläge während des Pumpversuches beeinflusst. Daher wurden lediglich die Messwerte der beiden ersten Tage der Absenkung von den Beobachtungsmessstellen MP 1 bis MP 6 nach THEIS

ausgewertet. Für die Messstellen P 1, P 2 und P 6, die zwischen 40 m und 65 m von dem Versuchsbrunnen 1 entfernt lagen, konnten k_f-Werte zwischen 1,56 x10^{-3} m/s und 2,02 · 10^{-3} m/s berechnet werden. In diesen Messstellen wurden maximale Absenkungsbeträge zwischen 0,13 m und 0,21 m durch den Pumpversuch in Brunnen 1 erzielt.

Für die mit 110 m und 148 m weiter entfernten Messstellen P 3 bis P 4 wurde eine geringere Absenkung von maximal 0,075 m als Reaktion auf die Pumpmaßnahme in Brunnen 1 gemessen. In diesen Messstellen wurden k_f-Werte zwischen 2,90x10^{-3} m/s und 2,96x10^{-3} m/s errechnet. Bei allen Berechnungen der k_f-Werte wird von einer grundwassererfüllten Mächtigkeit von 28,22 m ausgegangen.

Die auf Grundlage des im Mai/Juni 1983 durchgeführten Pumpversuches im Brunnen 1 errechneten k_f-Werte ergeben bei Einsetzen in hydrogeologische Modellrechnungen sehr hohe Fördermengen. Diese sind deutlich größer als die dokumentierten Fördermengen. Gründe hierfür können sein:

- Die geringeren kf-Werte der in ca. 140 m westlich des Absenkungsgebietes liegenden Mittelterrasse des Rheins: Diese stellt eine negative Randbedingung dar, die ein reduziertes Nachfließen von Grundwasser zum Absenkungsgebiet verursacht. Die Grundwassergleichenpläne zeigen im westlichen Zustrom des Absenkungsgebietes größere hydraulische Gradienten, die auf niedrigere kf-Werte der Mittelterrasse des Rheins hindeuten.
- Die Einschaltung des Interglazials im westlichen Zustrom sowie östlichen Abstrom: Im westlichen Zustrom ist das Interglazial in einer Tiefenlage von rund 20 m u. GOK (Moritzplatz) (ca. 18,8 mNHN) dokumentiert. Im östlichen Abstrom sollte das Interglazial unmittelbar östlich des Untersuchungsgebietes beginnen. Die Tiefenlage kann hier mit 5 bis 10 m u. GOK (ca. = 22 bis 27 mNHN) angenommen werden. Das Vorhandensein des Interglazials im Umfeld des Absenkungsgebietes kann die Fördermengen reduzieren, da das Interglazial aufgrund seiner erheblich geringeren Durchlässigkeiten eine hydrogeologische Barriere darstellt und zu einer deutlichen Reduzierung der Mächtigkeit der grundwassererfüllten Schichten führt. Beide Einschaltungen des Interglazials stellen in Bezug auf die Fördermengen negative Randbedingungen dar.

Insgesamt muss damit unter Berücksichtigung des Einzugsgebietes der Grundwasserförderung von einer geringeren Durchlässigkeit ausgegangen werden, wenn die Förderanlage über

mathematische Ansätze bemessen werden soll. Für die weiteren Berechnungen wird ein mittlerer Durchlässigkeitswert von $9x10^{-4}$ m/s bis $1x10^{-3}$ m/s angesetzt.

6.9 Grundwasserentnahmen im Aussageraum

Im Aussageraum sind unserem Büro, mit Ausnahme der Entnahme durch die LEG, keine relevanten Grundwasserentnahmen bekannt. Der wesentliche Teil der industriellen Entnahmen wurde in den vergangenen Jahrzehnten eingestellt.

Im Einzugsgebiet der Wasserhaltung gab es insbesondere in dem Zeitraum vor 1980 eine Vielzahl von industriellen Wasserrechten (z. B. Tivoli, Flores, VBL). In den Jahren 1970 wurden, ohne Berücksichtigung der Förderung für die Trinkwasserversorgung, im direkten Einzugsgebiet ca. 3,5 Mio. m³/a Grundwasser für industrielle Zwecke entnommen. Diese Förderungen haben sich seit Mitte der 1980er Jahre von rund 1,75 Mio. m³/a auf heute 0 m³/a reduziert. Mit der der Einstellung der Förderung der Firma VBL im Jahr 2008 finden im direkten Einzugsgebiet keine relevanten Entnahmen größer 0,05 Mio. m³/a statt.

Infolge der Einstellung der Förderung durch VBL sind die erforderlichen Entnahmemengen zur Trockenhaltung der Gebäude der LEG deutlich angestiegen.

6.10 Wasserschutzzonen im Aussageraum

Das Einzugsgebiet der aktuellen Wasserhaltung der LEG liegt innerhalb der im Jahr 1973 ausgewiesenen Trinkwasserschutzzone III b der Wasserfassungsanlage Uerdingen. Das Einzugsgebiet der Wasserfassungsanlage Uerdingen wurde im Jahr 2003 neu festgelegt und weicht nach Süden wie nach Osten von deren Schutzzone ab (u.a. **Anlage 1.3 ff**).

Die genaue Lage des Einzugsgebietes ist, in Abhängigkeit von der Höhe der Grundwasserstände, schwankend. Die in o.g. Anlagen dargestellte Lage ist instationär.

6.11 Altlastverdachtsflächen im Aussageraum

Die im Folgenden gemachten Angaben beziehen sich i.W. auf Untersuchungen, die im Zusammenhang mit der Einrichtung der Förderanlage der LEG gewonnen wurden. Details sind in [8] zusammengestellt (Wasserrechtsantrag vom 20.03.2012) und basieren i.W. auf Zusammenstellungen aus [1].

Neben einer Vielzahl kleinerer Standorte sind insbesondere relevant:

- zwei ehemalige bzw. langfristig betriebene chemische Reinigungen,

- eine textilverarbeitende Firma mit vermuteter chemischer Reinigung,
- eine Maler-/Lackier-/Vergoldungswerkstatt,
- ein Schrottlagerplatz/Werkstatt,
- Textilverarbeitung Fa. Verseidag AG,
- Textilverarbeitung VBL GmbH & Co. KG.

Im weiteren Einzugsgebiet liegen noch weitere Standorte:

- ehemaliger Nordbahnhof,
- Altablagerung Gutenbergstraße,
- ehemalige Textilfabrik an der Ecke Gutenbergstr/St. Töniser Str. (heute EKZ)
- ehemaliger Schrottplatz südwestlich des EKZ.

Für diese Standorte gehen nach unserem Kenntnisstand keine konkreten Gefährdungen aus bzw. die Standorte wurden gesichert bzw. saniert.

Unabhängig davon zeigt die Beaufschlagung des geförderten Grundwassers mit LHKW das im Einzugsgebiet ein Eintrag mit LHKW in das Grundwasser stattgefunden hat. Untersuchungen des IB Aquatechnik [1] haben keine konkreten Erkenntnisse zur Verursacherermittlung ergeben.

Andere, in der Peripherie liegende Altlastverdachtsflächen sind:

- Kapuziner und Inrather Berg

Bei beiden Standorten handelt es sich um Altablagerungen, die am Rande des Einzugsgebiets liegen. Für diese Altablagerungen liegen umfangreiche Untersuchungen vor. Aufgrund der komplexen hydraulischen Verhältnisse kann insbesondere bei sehr hohen Grundwasserständen und hohen Fördermengen eine temporäre Beeinflussung nicht ausgeschlossen werden. Konkrete Hinweise hierzu sind nicht bekannt.

6.12 Ergebnisse der Anwohnerbefragung

6.12.1 Belastbarkeit der Befragung

Alle im Folgenden genannten Zahlen beruhen auf der Anzahl der Rückläufe und stellen nicht zwingend ein realistisches Bild des gesamten Untersuchungsraumes dar. Wie schon in **Kapitel 3.2** ausgeführt kann das Ergebnis der Befragung nur als sehr grobe Orientierung herangezogen werden, da die gemachten Angaben z.T. widersprüchlich sind. **Aus den Auswertungen der Fragebögen können ausdrücklich keine exakt verwertbaren Angaben zur Ausbildung einer**

Gebäudeabdichtung oder zur Höhenlage der Bodenplatten für ein konkretes Gebäude abgeleitet werden.

Im Folgenden wird ein Überblick gegeben zu:

- Baujahr der Gebäude,
- Ausbildung der Abdichtung,
- Unterkante der Bodenplatte.

6.12.2 Baujahre der Gebäude

Das Baujahr eines Gebäudes kann für die Bewertung aus zwei Gründen von Bedeutung sein:

- Gebäude mit einem Baujahr vor 1962 unterlagen schon einmal dem Lastfall höchster gemessener Grundwasserstand bzw. sehr hohen Grundwasserständen, die in den 60iger aufgetreten sind.
- Gebäude mit einem Baujahr nach 1985 „standen“ immer unter dem Einfluss der Grundwasserabsenkung durch die LEG und damit auf die Entwicklung der höchsten Grundwasserstände.

Erfahrungsgemäß wurden insbesondere in den 70er Jahren und zu Beginn der 80 er Jahre durch fehlerhafte Einschätzungen in Bezug auf die höchsten Grundwasserstände viele Gebäude nicht fachgerecht gegenüber drückendem Wasser abgedichtet. Somit sind erfahrungsgemäß gerade Gebäude aus dieser Bauzeit kritisch zu betrachten.

Anlage 1.4 gibt einen Überblick über die Bauzeit der Gebäude. Im Bereich östlich des Grünzuges Kliedbruch weisen die Gebäude eine sehr heterogene Bauzeit auf und der Gebäudebestand ist hier im Wesentlichen durch eine Einzelhausbebauung mit großen Gartengrundstücken gekennzeichnet. Gebäude mit einem Baujahr vor 1970 sind nur im Einzelfall dokumentiert. Gebäude mit einem Baujahr nach 1970 liegen im westlichen Bereich des Ölhauserweges, Gebäude mit dem Baujahr nach 2000 am Montessoridyk.

Der Bereich westlich des Grünzuges Kliedbruch bis zur Blumentalstraße weist dagegen eine Erschließung von West nach Ost auf. Gegenüber dem Osten ist die Bebauung ab den 70 er Jahren hier auch verstärkt durch Reihenhäuser gekennzeichnet. Bereiche östlich des Breitendyks wurden mehrheitlich nach 1990 erschlossen, die Bereiche westlich des Breitendyk dagegen verstärkt ab den 1950 er Jahren (Leykesdyk). In den 1970/80-er Jahren erfolgte insbesondere eine Bebauung im Bereich Bönnersdyk.

6.12.3 Ausbildung der Bauwerksabdichtung

Die Ausbildung der Gebäudeabdichtung steht ebenfalls im Zusammenhang mit dem Baujahr. Wurden vor etwa 1960/1970 die Gebäude i.d.R. mit einer sogenannten „schwarzen Wanne“ (pech- oder bitumenstämmige Abdichtungsbahnen) errichtet, so wurden diese ab den 90er mehrheitlich als sogenannte „weiße Wanne“ aus wasserundurchlässigem Beton hergestellt. Insbesondere in den 70er Jahren können aber auch sogenannte „Dichtungsschlämme“ zum Einsatz gekommen sein.

Anlage 1.5 zeigt die Ausbildung der Gebäude entsprechend der Befragung. Es wurden nur Angaben zu einer „schwarzen Wanne“ oder „weißen Wanne“ dokumentiert bzw. zugeordnet.

Je älter das Baujahr desto höher ist der Anteil einer Abdichtung mit einer „schwarzen Wanne“. **Das Ergebnis dokumentiert aber insbesondere, dass fast alle Gebäude, unabhängig von der Bauzeit, mit dem „Wissen“ um die Problematik „drückendes Wasser“ errichtet wurden.** Damit ist ausdrücklich keine Aussage über die Qualität oder die Funktionsfähigkeit der Abdichtung verbunden.

6.12.4 Höhenlage der Gebäudebodenplatten

Die Angaben zur Höhenlage der Kellerbodenplatte unter Geländeniveau sind mit den starken Unsicherheiten verbunden. Die Angaben wurden gemacht in Bezug auf:

- die Oberkante (OK) der Bodenplatte,
- die Unterkante (UK) der Bodenplatte,
- ohne Bezugspunkt Ober- oder Unterkante Bodenplatte,
- als Höhenmaß unter Gelände,
- als mNN-Höhe.

Aufgrund dieser Vielzahl von Zuordnungen können konkrete Angaben kaum abgeleitet werden. Die Auswertung zeigt zudem, dass selbst für „benachbarte“ Reihenhäuser unterschiedliche Angaben gemacht wurden, was bautechnisch eigentlich nicht möglich ist. Die in **Anlage 1.6** gemachte Zuordnung bezieht sich deswegen auf die Oberkanten **und** Unterkanten der Bodenplatten und weist damit an sich schon eine Fehlerquote in der Stärke der Ausbildung einer Bodenplatte von ± 0,2 m auf.

Im Folgenden werden die in mNN gemachten Angaben eins zu eins auf mNHN bezogen.

6.12.5 Bewertung der Anwohnerbefragung

Trotz der schlechten Datenqualität kann aus den Angaben doch ein Ergebnis abgeleitet werden:

- Im Untersuchungsbereich wurden die Gebäude mit dem „Wissen“ um die Problematik des Grundwassers errichtet, da diese gemäß der Angaben der Anwohner mit Schutzmaßnahmen gegen „drückendes Wasser“ errichtet wurden,
- Für einen Großteil der Gebäude liegen die UK/OK der Bodenplatten im Bereich von < 31,25 mNHN und damit im Niveau des langjährigen Schwankungsbereiches des Grundwassers.
- Die nach 1990 errichteten Gebäude gehen mehrheitlich mit der Ausbildung einer „weißen Wanne“ einher.
- Gebäude mit dem Baujahr ab 1970 bis 1980, die als besonders kritisch zu bewerten sind, finden sich östlich des Grünzuges Kliedbruch nur in Einzelhausbebauung und westlich des Grünzuges mehrheitlich westlich der Straße Breitendyk.

7 Grundwasserganglinienanalyse und -höchststände

7.1 Definitionen

Die Angabe von Grundwasserhöchstständen in der Bautechnik ist abhängig vom Verwendungszweck. Zu unterscheiden sind:

- objektbezogene Angaben,
- flächenbezogene Angaben.

7.1.1 Objektbezogene Angaben des Grundwasserhöchststandes

Die Bemessung der Abdichtung von Gebäuden erfolgt in der Regel nach dem **höchsten Grundwasserstand** (HGW). Da von diesem Grundwasserstand die Art und Höhe der Ausführung der Abdichtung an einem Gebäude abhängig ist, wird er auch als Bemessungs**grundwasser**stand bezeichnet. Für die Abdichtung von Gebäuden existieren verschiedene technische Regelwerke und damit Definitionen für den Grundwasserhöchststand. Wesentlich ist dabei die DIN 18195, die ab Juli 2017 von der DIN 18533 Teil 1 ergänzt wurde.

Bis Juli 2017 wurde der Bemessungswasserstand für Gebäudeabdichtungen gemäß DIN 18195 definiert. Diese wurde im Juli 2017 abgelöst durch die DIN 18533 Teil 1. Die Definition des Bemessungsgrundwasserstandes gemäß DIN 18533 greift auf das **BWK Merkblatt M 8 (2009)** zurück und lautet:

„Der Bemessungsgrundwasser**stand (BGW) ist der Grundwasserhöchststand, der sich witterungsbedingt einstellen kann. Dabei sind die dauerhaft rechtlich verbindlich festgeschriebenen und die nicht verbindlich festgeschriebenen wasserwirtschaftlichen Maßnahmen zu unterscheiden und sachgerecht zu berücksichtigen.“**

Bei der Ermittlung des Bemessungsgrundwasserstandes sind die dauerhaft verbindlich festgeschriebenen und die nicht dauerhaft verbindlich festgeschriebenen wasserwirtschaftlichen Einflussfaktoren und deren Dauer zu unterscheiden und mit ihren Auswirkungen auf den Grundwasserstand zu berücksichtigen. In **Tabelle 7** sind die relevanten Begriffe, die für die Ableitung des Grundwasserhöchststandes von Bedeutung sind, aufgeführt.

Die Ableitung des objektbezogenen Bemessungsgrundwasserstandes obliegt dabei im Grundsatz dem Bauherrn bzw. seinem herangezogenen Fachplaner oder -gutachter.

Tabelle 7: Begriffsdefinitionen gemäß BWK Merkblatt M8 (2009)

witterungsbedingt:	Gesamtheit der Wettervorgänge für ein festgelegtes Gebiet und für einen festgelegten Zeitraum
dauerhaft:	Bezieht sich auf die Dauerhaftigkeit einer Absenkung
rechtlich verbindlich (rv) / rechtlich unverbindlich (ruv):	Rechtlich verbindliche Maßnahmen genießen Vertrauensschutz
natürlich:	Von anthropogenen Maßnahmen, die sich mittelfristig auf die wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen auswirken, unbeeinflusste Grundwasserstände. Zu den Einflüssen zählen neben Grundwasserentnahmen auch Änderungen von Vorfluterverhältnissen oder sonstige Maßnahmen, die tendenziell zu einer Absenkung der Grundwasserstände führen
langjährig:	Ein Zeitraum der mindestens die letzten 30 Jahre erfasst und somit auch die natürlichen klimatischen Schwankungen mit extremen Nassperioden. Der Zeitraum sollte zurückreichen bis in Zeiten, in der Eingriffe in die natürlichen Wasserverhältnisse noch gering waren. Es sollten die Grundwasserstände in den Zeiträumen der 50er/60er Jahre des letzten Jahrhunderts mit berücksichtigt werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass sich gerade die Grundwasserstände der 60er Jahre erheblich unter dem Einfluss von industriellen Grundwasserentnahmen entwickelt haben.

7.1.2 Flächenbezogene Angaben des Grundwasserhöchststandes

Die Vielzahl möglicher anthropogener Einflüsse mit Auswirkungen auf die Entwicklung der Grundwasserstände macht es objektbezogen schwierig zu beurteilen ob und in welchem Ausmaß ein beobachteter (= gemessener) höchster Grundwasserstand (HGW) anthropogen beeinflusst ist und in wieweit ein solcher Wert auch für eine in die Zukunft gerichtete Fragestellung verwendet werden kann. Abweichend von der objektbezogenen Angabe eines Bemessungsgrundwasserstandes ist es deswegen sinnvoll den höchsten Grundwasserstand auch flächig in einer Karte darstellen. Gemäß LIMBERG ET AL (2015) wird dieser sogenannte „zu erwartende höchste Grundwasserstand“ (zeHGW) wie folgt definiert und orientiert sich am BWK Merkblatt M 8 (2009):

„Der zu erwartende höchste Grundwasserstand (zeHGW) ist derjenige, der sich witterungsbedingt maximal einstellen kann. Er kann nach extremen Feuchtperioden auftreten, sofern der Grundwasserstand in der Umgebung durch künstliche Eingriffe weder abgesenkt noch aufgehöht wird.“

Da eine Vielzahl an Daten für die Ableitung des BWG aus der Fläche auf das Objekt extrapoliert wird, ist es sinnvoll diese Daten in einer Karte der höchsten zu erwartenden Grundwasserstände zusammenhängend darzustellen.

7.1.3 Zu erwartende höchste Grundwasserstände

Allgemein wird unter dem „höchsten Grundwasserstand“ (hGW) ein Extremwert verstanden, der unter natürlichen Verhältnissen nach einer längeren Periode mit außergewöhnlich hoher Grundwasserneubildung – also nach einer Reihe so genannter niederschlagsreicher Monate oder nasser Jahre – auftritt. Zur Ermittlung des höchsten Grundwasserstandes werden i.d.R. langjährige Aufzeichnungen von Grundwasserständen (Grundwasserstandganglinien) herangezogen.

Die Ableitung eines Grundwasserhöchststandes basiert auf der Auswertung von in der Vergangenheit gemessenen Grundwasserständen, die häufig in Form von Grundwasserstandganglinien vorliegen. Es wird angenommen, dass die Ableitung eines Grundwasserhöchststandes aus dem zurückliegenden Beobachtungszeitraum logisch äquivalent wie Stichproben aus den Datenmengen der Zukunft behandelt werden können. Dies setzt voraus, dass die in der Vergangenheit vorliegenden Rahmenbedingungen für das Ereignis eines „Grundwasserhöchststandes“ in der Zukunft exakt den Rahmenbedingungen aus der Vergangenheit entsprechen, die Zukunft die Vergangenheit also spiegelt.

Auf die Entwicklung der Grundwasserstände wirken dabei eine Vielzahl von natürlichen und anthropogenen Faktoren, die sich in ihrer Wirkungsintensität, dem Raum und der Zeit verändern können (**Tabelle 8).**

Tabelle 8: Darstellung der Einflussfaktoren für die Entwicklung von Grundwasserständen (BWK 2009)

Einflussfaktor	Von Dauerhaftigkeit auszugehen?	Zu berücksichtigende Auswirkung
Grundwasserentnahmen	nein	Grundwasserabsenkung, (bei Reduzierung: Grundwasseranstieg)
Sanierung der Kanalisation, Abdichtung von Leckagen	ja	Reduzierung der Dränagewirkung, Grundwasseranstieg
Versickerung von Niederschlagswasser	ja	lokaler Grundwasseranstieg
Bauwerke im Grundwasser	ja	Absperrung der Grundwasserströmung, ggf. lokaler Grundwasseranstieg im

Einflussfaktor	Von Dauerhaftigkeit auszugehen?	Zu berücksichtigende Auswirkung
		Grundwasseranstrom, lokales Absenken im Abstrom
Bergsenkungen z.B. im Steinkohlenbergbau	ja	Grundwasserregulierung im Konfliktfall
Sümpfung im Braunkohlenbergbau	nein	Grundwasserabsenkung, (nach Beendigung: Wiederanstieg des Grundwassers)
Dauerhafte Freilegung des Grundwasserkörpers durch Nassabgrabungen	ja	Grundwasseranstieg im Unterstrom
Durch wasserbauliche Maßnahmen veränderte Gewässer	ja	Der Ist-Zustand ist maßgeblich
Durch wasserbauliche Maßnahmen geschützte Gebiete	ja	Der Ist-Zustand ist maßgeblich
Rückbau naturfern ausgebauter Gewässer	ja	Veränderungen des Grundwasserstandes sind zu quantifizieren, ggf. Schutzmaßnahmen erforderlich

In Krefeld hatten z.B. die intensiven industriellen Grundwasserentnahmen der 60 und 70er Jahre einen wesentlich höheren Einfluss auf die Entwicklung der Grundwasserstände als heute. Ein sich in der Vergangenheit eingestellter Grundwasserhöchststand gilt damit streng genommen nur unter den gleichen wasserwirtschaftlichen Rahmenbedingungen wie die für den zum Zeitraum der Messung vorhandenen.

Die objektbezogene Bestimmung des höchsten Grundwasserstandes erfolgt anhand möglichst langjähriger Grundwasserstandsaufzeichnungen von mindestens 30 Jahren. Die Langjährigkeit des Auswertungszeitraumes bemisst sich aber immer nach den regional unterschiedlichen und allgemeinen Erfahrungen und Erkenntnissen zu den höchsten Grundwasserständen im Umfeld des Bauwerkes. Auf den Raum Krefeld bezogen sollten diese immer bis in 1950er bzw. 1960er Jahre zurückreichen.

Abbildung 8 zeigt exemplarisch den Einfluss der Länge einer Zeitreihe auf die Höhe des Grundwasserhöchststandes. Für Krefeld geht man davon aus, dass für die Zeit nach 1950 die Grundwasserstände der Jahre 1962 und 1967 sehr hoch waren. Lokal wurden aber auch im Frühjahr 2011, sowie im Januar 2016 und 2018 sehr hohe bis höchste Grundwasserstände gemessen.

Die Aufzeichnung von Grundwasserständen reicht punktuell im Stadtgebiet von Krefeld bis in die 1880 Jahre zurück und ist dabei immer mit einer „Nutzung“, i.d.R. durch eine Trinkwasserförderung, verbunden. Damit ist klar, dass ein wirklich „natürlicher“, im Sinne eines vollkommen

anthropogen unbeeinflussten höchsten Grundwasserstand im Raum Krefeld wohl nie gemessen wurde.

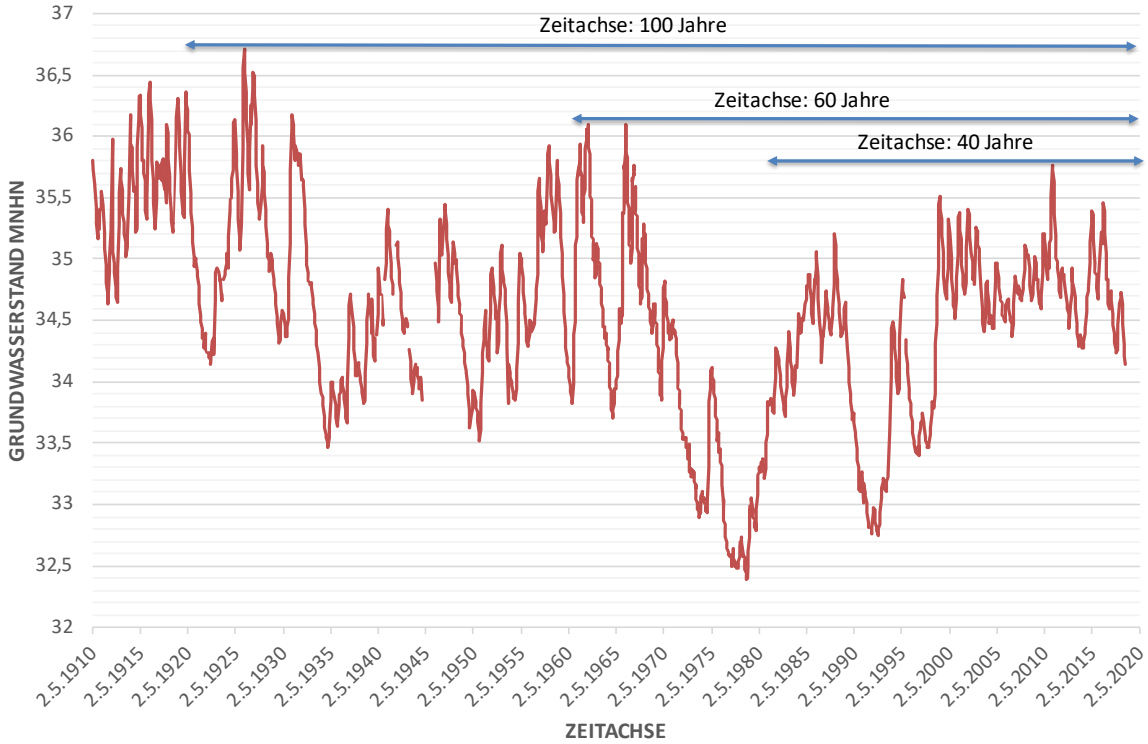

Abbildung 8: Einfluss der Messdauer auf die Ableitung eines Grundwasserhöchststandes am Beispiel von Ganglinien aus dem Südwesten von Krefeld

Umgekehrt wäre die Kenntnis eines solchen Wertes für die meisten Fragestellungen auch kaum von Bedeutung, da nicht zu erwarten ist, dass sich Grundwasserverhältnisse, wie sie zum Ausgang des 19. Jahrhunderts bestanden, aufgrund der Siedlungsgeschichte und den damit verbundenen erheblichen und auch nicht reversiblen Eingriffen in das wasserwirtschaftliche System kaum jemals wieder einstellen werden.

Aus diesem Grunde wird für die Ableitung des höchsten Grundwasserstandes i.W. auf Daten für den Zeitraum nach 1960 zurückgegriffen. **Das bedeutet im Umkehrschluss, dass die folgenden Angaben zum Grundwasserhöchststand nicht dem höchsten natürlichen Grundwasserstand entsprechen, der vor Beginn der Siedlungsentwicklung im Raum Krefeld sicherlich höher gelegen hat.**

7.2 Ableitung des höchsten gemessenen Grundwasserstandes

7.2.1 Einflüsse auf die Entwicklung der Grundwasserstände

Im Stadtgebiet Krefeld lassen sich zwei wesentliche Einflußfaktoren auf die Grundwasserstands-entwicklung zeitlich darstellen:

- Klimatische Wasserbilanz,
- Entwicklung der Fördermengen.

In **Abbildung 9** ist die monatliche Wasserbilanz exemplarisch dem Grundwasserstandsverlauf die Grundwasserstandsganglinie P 131 für den Zeitraum 1960 bis 2018 gegenübergestellt. Der langjährige Trend der Wasserbilanz ist sehr schwach rückläufig, wohingegen der Trend für die Entwicklung des Grundwasserstandes sehr schwach ansteigend ist. Aufgrund der nur sehr schwachen Trends in beiden Zeitreihen würde man diese als „gleichbleibend“ einstufen.

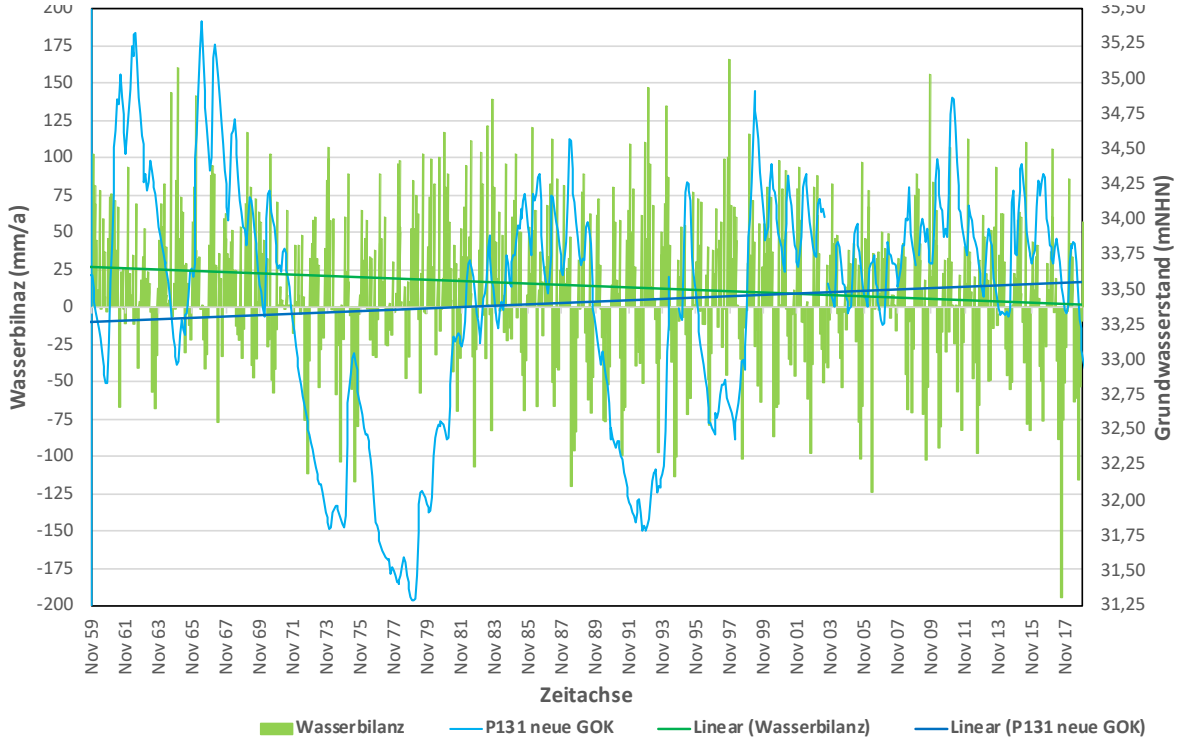

Abbildung 9: Gegenüberstellung der klimatischen Wasserbilanz zur Grundwasserstands-entwicklung am Bespiel der Messstelle GWM 131

Die Abbildung 10 zeigt die Entwicklung der Grundwasserentnahmen seit 1960. Diese sind seit den 1970er eindeutig rückläufig und haben sich seitdem fast halbiert. Die Prognose für 2020/2021 berücksichtigt die zu erwartende Einstellung der Entnahmen durch die LEG im Jahr 2020.

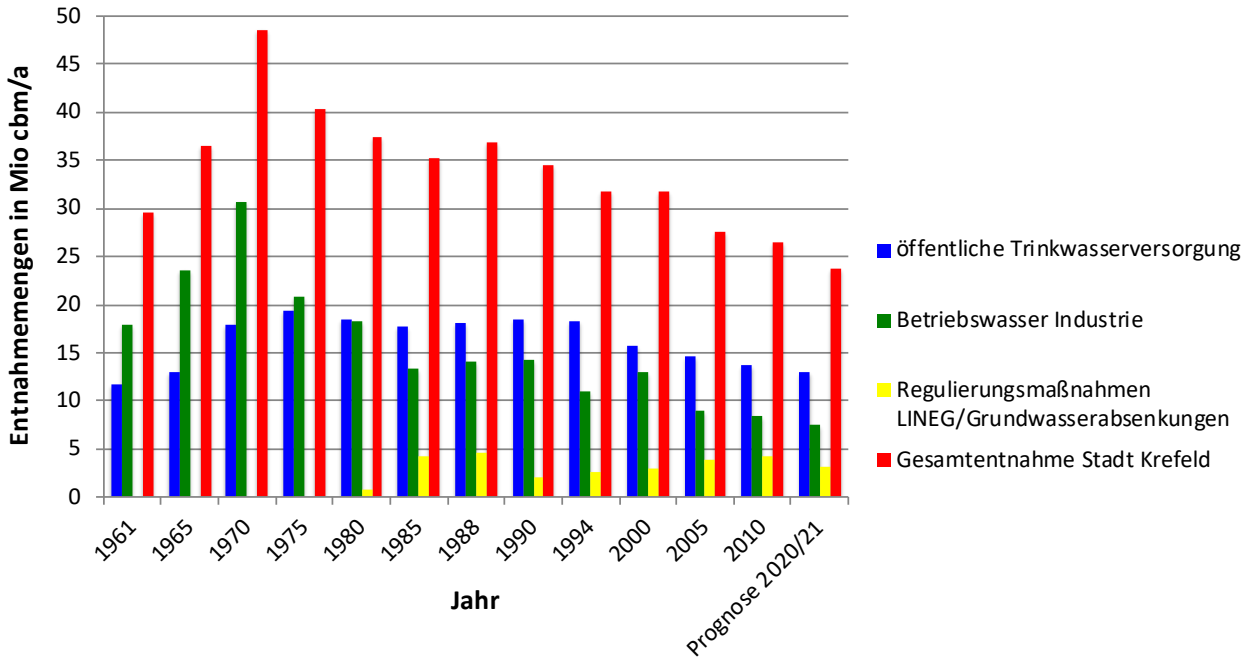

Abbildung 10: Entwicklung der Grundwasserentnahmen im Stadtgebiet Krefeld von 1961 bis 2020

7.2.2 Grundwasserstände ab 1900

Es werden Grundwasserstandsmessstellen ausgewertet, deren Aufzeichnungen der Grundwasserstände bis in das 19. Jahrhundert zurückreichen. Derartige Messstellen liegen insbesondere vor für folgende Räume:

- Forstwald (Wasserfassungsanlage II),
- Kempener Allee (Wasserfassungsanlage I),
- unmittelbar nördlich des Stadtgebietes im Einflußbereich des Steinkohlenbergbaues.

Zur Einordnung der Höhe des Grundwasserstandes ist exemplarisch die Grundwasserstandsentwicklung im Bereich Horkesgath (**Anlage 2.1)** dargestellt. Die Darstellung setzt sich zusammen aus Aufzeichnungen im Bereich Kempener Allee / Ecke Horkesgath (Zeitraum 1904-1951) und der rund 300 m westlich, und damit zustromig, gelegenen Messstelle P 108 (1949 bis 2019) auf der Horkesgath. Die Grundwasserstände an der P 108 sind rund 0,25 m bis maximal 0,5 m höher als im Bereich Kempener Allee.

Die Messstellen liegen im Zustrom zum Untersuchungsraum und im Einflussbereich der Wasserfassungsanlage I der SWK. Bis in 50er Jahre wurde das Grundwasser aus dem Bereich des

oberen Grundwasserleiters im Bereich der Kempener Allee entnommen. Anschließend wurden die Entnahmebrunnen nach Westen verlagert und diese erfolgten aus dem 2. Teilgrundwasserstockwerk. Letztlich ist die Beeinflussung der Grundwasserstände damit nach 1950 geringer als zuvor, obwohl mehr Grundwasser gefördert wird.

Die höchsten Grundwasserstände des 20. Jahrhunderts wurden zwischen 1900 und 1927 gemessen. Die Grundwasserhochstände der Jahre 1962, 1967, 1988, 1995, 2011 und 2016 stellen, bezogen auf die Zeit nach 1950, absolute Höchststände dar. In Relation zu den Messungen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts lagen sie jedoch auf einem um 1,0 bis 1,5 m niedrigerem Niveau.

Die Entwicklung der Grundwasserstände wurde vor dem 2. Weltkrieg durch öffentliche und private Grundwasserentnahmen nur gering beeinflusst, da die Industrialisierung zu diesem Zeitpunkt noch nicht so weit fortgeschritten war und die Entnahmen für die Trinkwasserversorgung ebenfalls auf niedrigerem Niveau lagen.

7.2.3 Erstellung eines historischen Grundwassergleichenplans

Zur Darstellung der „unbeeinflussten natürlichen“ Grundwasserfließverhältnisse wurde in [27] für einen möglichst weit zurückliegenden Zeitraum ein Grundwassergleichenplan für den Stichtag April 1926[6] konstruiert, der nicht zuletzt wegen des Rheinhochwassers sehr hohe Grundwasserstände repräsentiert. Die Datenqualität und die Datenmengen sind mit den heutigen Informationen nicht vergleichbar, so dass diese Darstellung wesentlich stärker von Interpretationen abhängig ist, als bei aktuellen Grundwassergleichenplänen. Zur Rekonstruktion wurden folgende Unterlagen berücksichtigt:

- 17 Grundwasserstandsmessstellen und etwa sechs „Lokalitäten“ ohne genau Punktangabe (z. B. „Stadtwald“),
- Verbreitung Bruchgebiete und (Wasser-)Blänken aus der Tranchotkarte 1804,
- Verbreitung des hydromorphen Bodentyps Gley in der Bodenkarte des GLA NRW,
- Literaturangaben von WEIMANN (1940),
- Geländehöhenplan der Städtischen Werke Krefeld im Bereich der Bruchgebiete,

6 R. Strotmann (1997): Hydrologische Auswirkungen der Siedlungsentwicklung auf den Wasserkreislauf am Beispiel der Stadt Krefeld über den Zeitraum von 1800 bis 1995. – Dissertation RWTH Aachen (unveröffentlicht).

- maximal gemessene Grundwasserstände von Grundwassermessstellen der Jahre 1949 bis 1967,
- Bauplan der LINEG (1989) mit Grundwassergleichenplan aus dem Jahr 1911.

Aus dem Grundwassergleichenplan des Jahres 1926 kann für das Untersuchungsgebiet ein Grundwasserstand von 31,90 (Blumentalstr./Wilmendyk im Westen) bis 31,20 mNHN (Marcelli im Osten) und für die Messstelle TB 15 von rund 31,70 mNHN abgeleitet werden.

7.2.4 Entwicklung der Grundwasserstände nach 1950

Innerhalb des Arbeitsraumes liegen mit den Messstellen TB 15, TB 12 und P 413 drei Messstellen mit Grundwasserstandsaufzeichnungen vor, die bis in die 1960/1970 zurückreichen. Im direkten Umfeld liegen mit den Messstellen P 108, P 126, P 128, St. Tönis, TB 19, TB 12 und P 411 weitere Messstellen mit langjährigen Grundwasserstandsaufzeichnungen. In **Abbildung 11** ist exemplarisch die Entwicklung der Grundwasserstände für die Messstellen P 108, P 126, TB 15 und P 411 dargestellt.

Die Messstellen P 108 und P 126 befinden sich zustromig zum Aussageraum und auf der Mittelterrasse. Sie sind gegenüber den Messstellen TB 15 und P 411, die sich auf der Niederterrasse befinden, insgesamt durch höhere Flurabstände und damit höheren absoluten Schwankungen des Grundwassers gekennzeichnet. Die Messstellen zeigen im Gegensatz zu den Messstellen TB 15 und P 411 insbesondere ab etwa 2007 deutlich steigende Grundwasserstände an.

Annähernd zentral im Arbeitsraum liegt die Grundwassermessstelle TB 15[7]. Für diese Messstelle liegen monatliche Grundwasserstandmessungen seit November 1959 vor. In diesem Gutachten wird die Zeitreihe von Nov. 1959 bis Frühjahr 2019 mit einem Stichprobenumfang[8] von N = 713 Messwerten betrachtet (siehe **Tabelle 6**). Im Beobachtungszeitraum schwankten die Grundwasserstände hier zwischen ca. 29,39 und 31,54 mNHN. Der im Vergleich zum Mittelwert gegenüber Extremwerten robustere Median liegt bei 30,87 mNHN. Sehr hohe Wasserstände zwischen 31,25 und 31,54 m NHN sind in einzelnen Monaten der 1960iger Jahre sowie in den 2010er

7 Die Messreihe der Messstelle TB 15 wurde bisher in allen Gutachten herangezogen, um den Bemessungsgrundwasserstand für die Gebäude der LEG abzuleiten. Die Messstelle diente somit in der Vergangenheit und aktuell als Referenzmessstelle für das Untersuchungsgebiet.

8 Anzumerken ist, dass statistische Auswertungen von Grundwasserständen, anders als in der Hydrologie bei Vorflutern, aufgrund komplexerer Rahmenbedingungen hinsichtlich der „Entstehung“ eines Grundwasserstandes, nur der Orientierung dienen sollten, nicht aber als statistisch sichere Aussage.

Jahren dokumentiert. Insgesamt sehr niedrige Wasserstände (< 30,50 mNHN) wurden in den Jahren von 1971 bis 1979 wie 1990 bis 1994 gemessen. Seit Beginn des neuen Jahrtausends wurden Grundwasserstände unterhalb des Mittelwertes von 30,67 mNHN nahezu nicht mehr unterschritten. Das Grundwasser unterliegt nur geringen jährlichen Schwankungen und insgesamt auf einem hohen Niveau. Statistisch gesehen liegen rund 80 % aller gemessenen Grundwasserstände für den Zeitraum Nov. 1959 bis März 2019 bei kleiner 31,05 mNHN und mehr als 90 % bei kleiner 31,25 mNHN (**Abb. 7**).

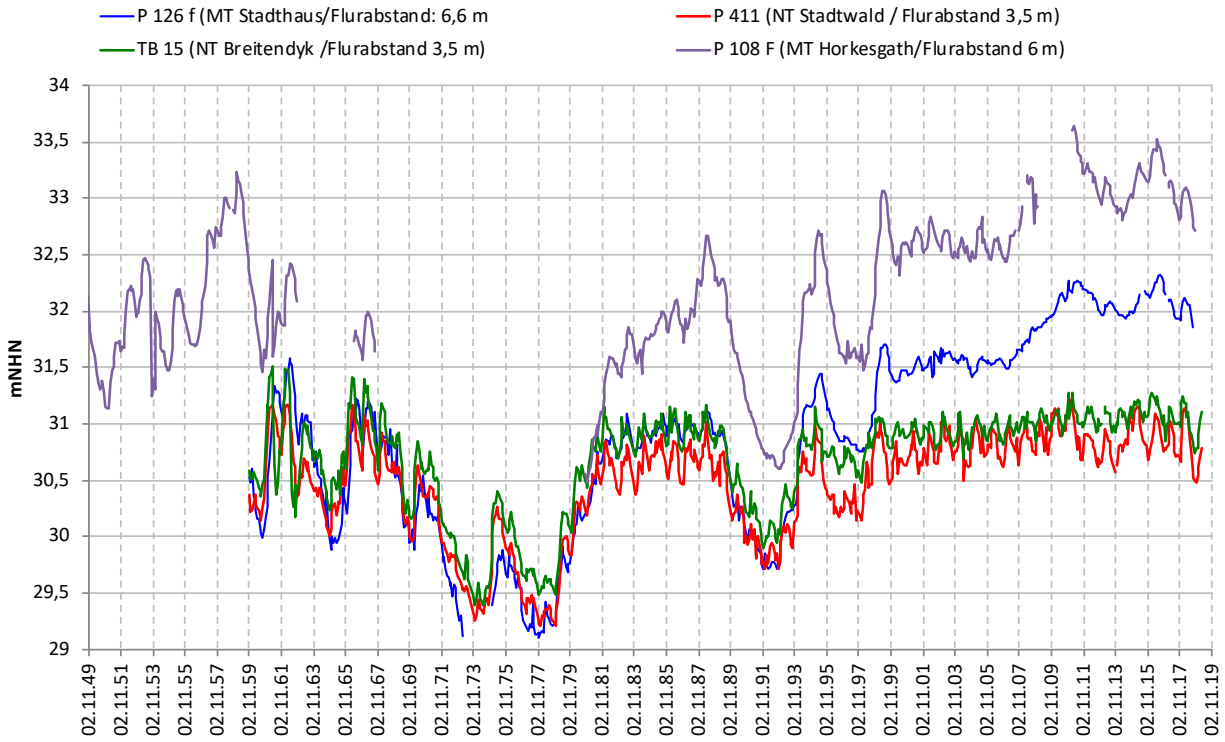

Abbildung 11: Entwicklung der Grundwasserstände ausgewählter Messstellen im bzw. im Umfeld des Arbeitsraumes

Für die Messstelle TB 15 ist ein höchster gemessener Grundwasserstand von 31,54 m NHN (April 1961) dokumentiert. Die höchsten gemessenen Grundwasserstände der letzten Jahre 10 Jahre lagen bei:

- Februar 2011: 31,31 m NHN
- März 2015: 31,25 m NHN
- Februar 2016: 31,31 m NHN
- Januar 2018: 31,27 m NHN

Am Grundwassergang läßt sich die allgemeine klimatische Entwicklung gut dokumentieren. So führte eine Folge von sehr trockenen Jahren, wie sie beispielsweise in den 70er, Anfang der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts sowie ab 2018 vorlagen, zu einer geringeren Versickerung und damit zu einem Absinken der Grundwasserstände. Umgekehrt führte eine Folge niederschlagsreicher Jahre, wie sie zum Beispiel von 1998 bis 2000 vorlagen, zu einem deutlichen Anstieg des Grundwassers. Die Schwankungen des Grundwassers können im Raum Krefeld bei bis zu 4 m liegen.

Die niedrigsten Grundwasserstände wurden in den Jahren 1974 bis 1978 gemessen. Wie auch die sehr niedrigen Grundwasserstände der Jahre 1990 bis 1992 resultierten sie aus einer Folge niederschlagsarmer Jahre; zugleich sind sie aber auch Folge anthropogener Einflüsse. In der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts wurden derart niedrige Grundwasserstände nicht gemessen.

Der höchste Grundwasserstand an der Messstelle TB 15 im Jahr 1961 wurde zu einem Zeitraum gemessen, in dem – im Vergleich zur heutigen Zeit – erheblich höhere industrielle Grundwasserentnahmen, insbesondere im unmittelbaren Zustrom des Projektgebietes, dokumentiert sind.

Die hohen Grundwasserstände der 2010er Jahre wiederrum dokumentieren einerseits einen Zustand mit auf ein Minimum reduzierten industriellen Grundwasserentnahmen im Zustrom auf der Mittelterrasse und einem Maximum an Grundwasserförderung durch die LEG-Maßnahme.

7.2.5 Bewertung des höchsten gemessenen Grundwasserstandes an der TB 15

Allgemein ist zu erwarten, dass die Grundwasserstandshöhen an verschiedenen Orten innerhalb des Stadtgebietes für jeden Messzeitpunkt quasi immer in der gleichen Relation zu einander stehen. Zu erwarten wäre bei einer direkten zeitgleichen Gegenüberstellung der Messwerte eine „Punktwolke“ mit einer mehr oder weniger linearer Verteilung über die Schwankungsbreite der Grundwasserstände. Beispielhaft ist dies in **Abbildung 12** sowie in der **Anlage 2.5** für ausgewählte Messstellen dargestellt.

Dies sollte insbesondere dann der Fall sein, wenn die anthropogenen Einflüsse auf die Höhe der Grundwasserstände gering sind. In einem industriell geprägten und dicht besiedelten Raum wie das Stadtgebiet von Krefeld, ist dies kaum zu erwarten. Als „relativ“ unbeeinflusst gelten die Messstellen:

- St.Tönis 021 (LGD- 080100790): westlich Tönisvorst (Schmitzheide)
- SWK P501 (LGD-Nummer 086566167): nördlich Autobahnabfahrt Krefeld Oppum (A 57)

Beide charakterisieren Messstellen mit nur schwachen anthropogenen Einflüssen und liegen in hydrogeologisch und wasserwirtschaftlich sehr unterschiedlichen Einzugsgebieten. Die Gegenüberstellung der Grundwasserstandmessungen beider Messstellen zeigt eine nahezu linear verteilte Punktwolke (**Abb. 12**).

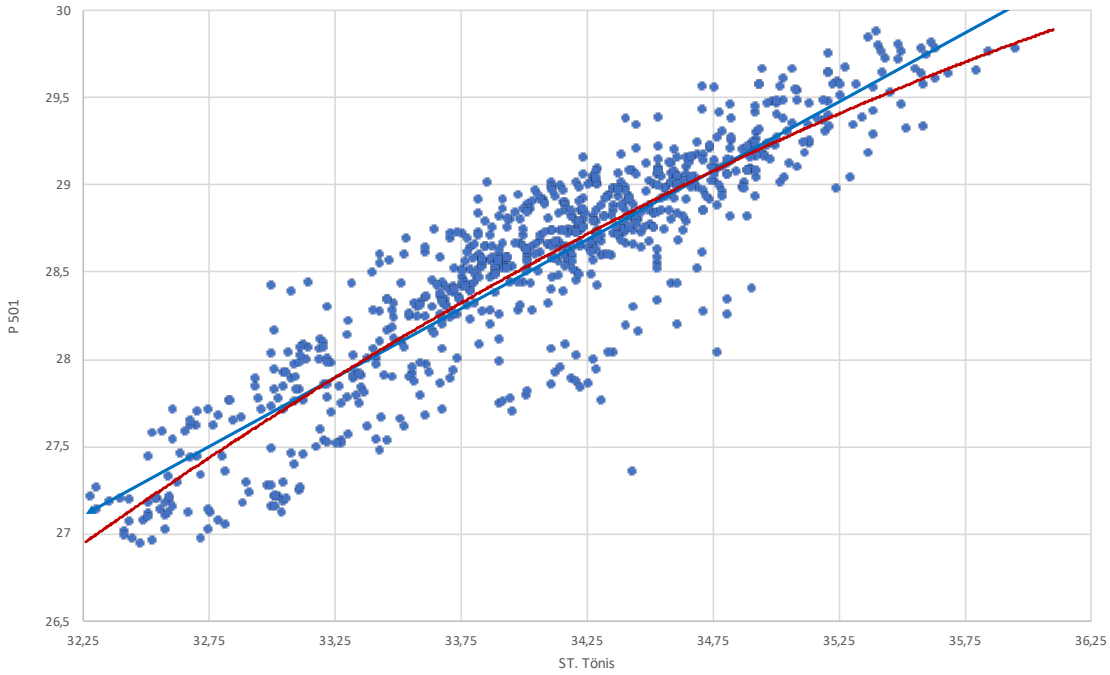

Abbildung 12: Gegenüberstellung der Grundwasserstände der Messstelle St. Tönis zur Messstelle P 501

In **Abbildung 13** sind die Messwerte der Messstelle St.Tönis denen der Messstelle an der TB 15 gegenübergestellt. Gerade in Bezug auf die Korrelation bei den hohen wie aber auch niedrigen Grundwasserständen weichen diese deutlich von einander ab. Die höchsten Grundwasserstände der TB 15 liegen in Relation niedriger als an der Messstelle St.Tönis.

Weitere Gegenüberstellung der gemessenen Grundwasserstände des TB 15 zu den Messungen an ausgewählten Messstellen (P 108, P 126, P 411, P 501) finden sich in **Anlage 2.5**. Auch hier zeigt die Messstelle TB 15 gegenüber den herangezogenen Vergleichsmessstellen die oben beschriebenen Abweichungen in Bezug auf die Grundwasserhöchststände. Ein nahezu paralleler Verlauf ist nur mit der ebenfalls im Bereich der Niederterrasse liegenden Messstelle P 411 zu erkennen.

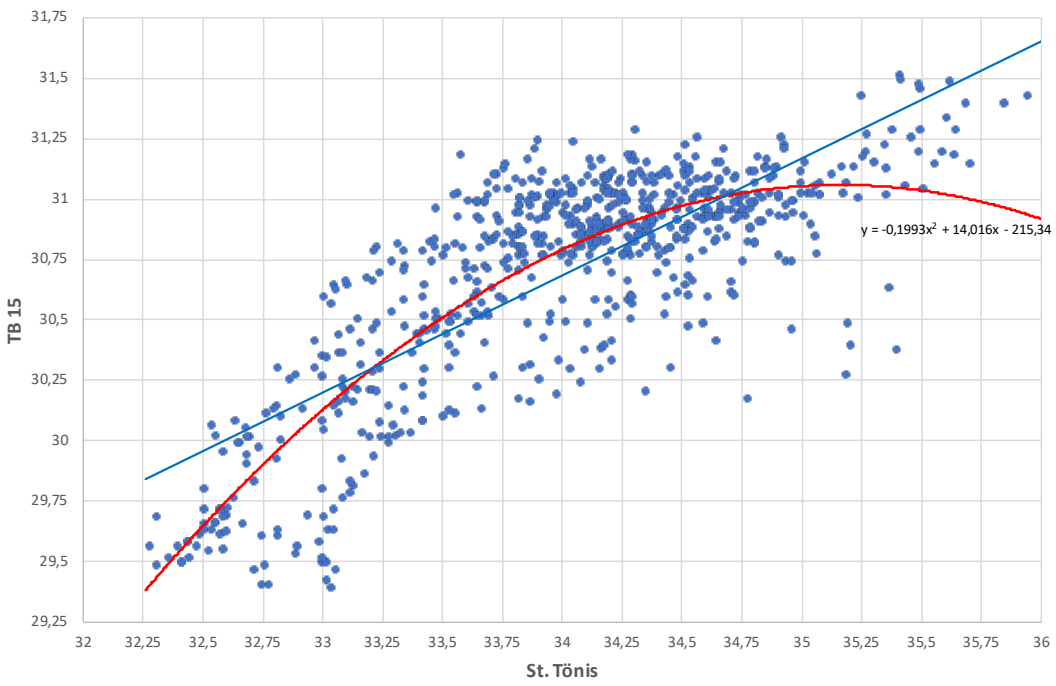

Abbildung 13: Gegenüberstellung der Grundwasserstände der Messstelle St.Tönis zur Messstelle TB 15

Die Gegenüberstellung der TB 15 zu Messstellen im Zu- und Abstrom im Arbeitsraum dokumentiert das die höchsten gemessenen Grundwasserstände nicht einhergehen mit den höchsten gemessenen Grundwasserständen an den zustromig gelegenen Messstellen und auf einem tieferen Niveau verbleiben. Unterteilt man den Zeitraum in Abschnitte vor und nach 1985, entsprechend vor und nach Beginn der Förderung durch die LEG, so zeigt sich, dass dieses Phänomen für den Zeitraum nach 1985 stärker ausgeprägt ist.

Die Gegenüberstellung lässt erwarten, dass die hohen Grundwasserstände insbesondere der letzten Jahre, an der Messstelle TB 15 **rund 20 bis 40 cm unter den höchsten Grundwasserständen** im Untersuchungsraum lagen. Dies wird ursächlich auf die Lage der Messstelle TB 15 nahe zum Absenktrichter der LEG-Maßnahme zurückgeführt.

Bezogen auf den bisher gemessen Grundwasserhöchststand am TB 15 wäre auf Basis dieser Gegenüberstellungen ein Grundwasserstand um 31,74 bis 31,94 m NHN für den TB 15 durchaus realistisch.

Hinzuweisen ist, dass an anderen Stellen im Stadtgebiet Krefeld im Februar 2011 deutlich höhere Grundwasserstände als in den 60er Jahren gemessen wurden. Insbesondere im Südwesten des Stadtgebietes lagen diese bis zu 1 m über dem Wasserstand aus den 1960iger Jahren. Im Bereich des Arbeitsgebietes lagen die Grundwasserstände von 1962 noch oberhalb der Grundwasserstände aus dem Jahr 2011.

7.2.6 Räumliche Entwicklung der Grundwasserstände

Zur Bestimmung des mengenmäßigen Zustands im Zusammenhang mit der EU-WRRL wird im Allgemeinen das Grimm-Strele-Verfahren (GRIMM-STRELE 2003) angewendet. Hierbei werden möglichst lange Zeitreihen des Grundwasserstandes (mind. 30 Jahre) ausgewertet und der Trend der Zeitreihe ermittelt. Durch die Wahl möglichst langer Datenreihen wird der Einfluss der normalen hydrologischen Schwankungen minimiert. Der Trend ergibt sich dabei aus dem Verhältnis von der Steigung der Regressionsgeraden in cm pro Jahr und der Spannweite der Extremwerte (Minimum / Maximum) der Zeitreihe in cm. Die Auswertung berücksichtigt damit neben der Steigung der Regressionsgeraden auch die Differenz der beiden Extremwerte wodurch die Schwankungsbreite des Grundwasserstandes (Spannweite) zumindest ansatzweise berücksichtigt wird.

$$\frac{Steigung\ der\ Regressionsgeraden\ in\ cm\ pro\ Jahr}{Spannweite\ der\ Extremwerte\ der\ Zeitreihe\ in\ cm} =$$

N

ach dieser Gleichung wird ein prozentualer positiver oder negativer Steigungswert (in % pro Jahr) berechnet und 5 Klassen zugeordnet (**Tabelle 9**)

Tabelle 9: Bewertungstabelle des Trends nach dem Grimm-Strele-Verfahren (modifiziert)

	Trend
< - 1 % pro Jahr	stark fallend
- 1 % bis < - 0,5 % pro Jahr	fallend
- 0,5 % bis < + 0,5 % pro Jahr	gleichbleibend
> 0,5 % bis < + 1 % pro Jahr	steigend
> 1 % pro Jahr	stark steigend

Für die Auswertung wurden die in **Tabelle 10** aufgeführten Messstellen (**Anlage 1.7**) ausgewählt. Alle Messstellen liegen im Westen bzw. im mittleren Teil des Stadtgebiets von Krefeld. Allen Messstellen ist gemein, das diese über den Zeitraum der hydrologischen Jahre 1960 bis 2018 nahezu durchgängige mindestens monatliche Messung der Grundwasserstände aufweisen.

Tabelle 10: Auswertung des Trendverhaltens nach Grimm-Strele

Messstelle	Recht	Hoch	Min	Max	delta	Mittel-wert	Steigung (cm/a)	Grimm-Strele
P 108	2537072,76	5689194,51	30,48	33,64	3,16	32,20	0,027	0,8544%
P 125	2536235,91	5688959,58	29,35	32,31	2,96	31,10	0,018	0,5912%
P 126	2537988,91	5689473,59	29,14	32,32	3,18	30,76	0,024	0,7547%
P 127	2536981,92	5689663,08	29,89	33,50	3,61	32,39	0,009	0,2632%
P 128	2537199,04	5689837,80	29,95	33,24	3,29	31,41	0,001	0,0456%
P 131	2534348,39	5689572,31	31,29	35,41	4,12	33,42	0,002	0,0607%
P 136	2536053,32	5687885,54	30,69	34,53	3,84	32,82	0,010	0,2604%
P 201	2537123,45	5685018,53	30,44	35,29	4,85	32,85	0,040	0,8144%
P 202	2536866,05	5684801,59	31,41	35,20	3,79	33,33	0,034	0,9103%
P 203	2536576,60	5684429,57	31,92	35,36	3,44	33,72	0,023	0,6541%
P 205	2537405,09	5685231,62	29,92	35,17	5,25	32,60	0,046	0,8762%
P 208	2537065,89	5685256,25	30,53	35,17	4,64	32,67	0,036	0,7866%
P 216	2536879,10	5687251,18	30,74	34,86	4,12	33,02	0,015	0,3641%
P 225	2534730,50	5685267,84	32,39	36,09	3,70	34,35	-0,004	-0,1081%
P 238	2541180,11	5688799,38	28,90	31,47	2,57	30,62	0,017	0,6420%
P 241	2542141,56	5684049,91	32,42	35,71	3,29	34,32	0,014	0,4255%
P 403	2544082,73	5692519,54	23,71	27,53	3,82	34,32	0,017	0,4319%
P 411	2540428,56	5690617,04	29,21	31,23	2,02	30,48	0,013	0,6188%
P 413	2539590,08	5691151,92	29,98	31,79	1,81	30,94	0,006	0,3315%
P 501	2543955,07	5688494,14	26,99	29,92	2,93	28,53	0,026	0,8874%
P 528	2547327,46	5689473,21	21,40	28,35	6,95	23,51	-0,020	-0,2878%
L 726	2536418	5695148	28,56	31,01	2,45	29,66	-0,017	-0,6939%
L 728	2537219	5694719	28,51	31,20	2,69	29,68	-0,021	-0,7807%
L 729	2537915	5694021	29,44	31,50	2,06	30,45	-0,007	-0,3398%
TB 4	2541815,71	5689739,42	28,60	30,67	2,07	29,83	0,012	0,5797%
TB 12	2539519,11	5691420,65	29,42	31,98	2,56	30,82	0,006	0,2344%
TB 15	2539137,52	5690568,64	29,39	31,51	2,12	30,69	0,013	0,6132%
ST. Tönis			32,26	36,10	3,84	34,00	0,001	0,0260%

Tendenziell fallende Grundwasserstände finden sich nur an Messstellen aus dem nördlichen Bereich des Hülser Bruches. Diese stehen hier mit Gewässerregulierungen infolge des Steinkohlebergbaues in Verbindung. An dem überwiegenden Teil der Messstellen im Westen des Stadtgebietes von Krefeld lassen sich über den Zeitraum tendenziell positive Trends ableiten, die der Kategorie (**Tabelle 9**) gleichbleibend bis steigende Grundwasserstände zuzuordnen sind.

7.2.7 Ableitung von Grundwasserhöchstständen im Umfeld

Für ausgewählte Messstellen im Bereich des Untersuchungsgebietes wurden für die Erstellung des Grundwassermodells ein höchster Grundwasserstand auf Basis einer Auswertung der Grundwasserganglinien abgeleitet. Diese sind in **Tabelle 11** für ausgewählte Messstellen zusammengestellt. Es wird deutlich, dass „**der eine Zeitraum“** mit höchsten gemessen Grundwasserständen nicht existiert. Vielmehr treten insbesondere zu Beginn der 60er Jahre, im Herbst 2010/Frühjahr 2011 und Sommer 2016 deutliche Häufungen mit Grundwasserhöchstständen auf.

Tabelle 11: Gemessene höchste Grundwasserstände im Aussageraum (11.1959 bis 8.2019)

Mess-stelle	Apr. 1962	Apr. 1988	Mär. 1999	Mär. 2011	GWHST	DATUM GWHST	GWHST über März 2011	
	[m NHN]	[m NHN]	[mNHN]	[m NHN]	mNHN			
412**	--	31,01	30,95	30,77	31,09 (31,18 ***)	12.81	0,32	10.71-8.19
411 *	31,16	30,99	31,03	31,14	31,23	Feb. 11	0,09	11.59-03.19
413 *	--	31,42	31,41	31,23	31,56	Mär.69	0,33	03.67-3.19
TB15 *	31,50	31,12	31,04	31,12	31,54 (31,58 ***)	April 61	0,42	11.59-03.19
TB19*	--	--	31,58	31,49	31,65	Feb.11	0,16	5.92-3.19
TB13*	31,63	31,38	31,50	31,27	31,73	Dez. 62	0,46	11.59-03.19
TB12*	31,85	31,39	31,33	31,26	32,17 (32,15 ***)	Dez. 60	0,91	11.59-03.19
TB20*			32,16	31,74	32,30	Mär. 99	0,41	11.91-819
126F***	31,59	31,19	31,65	32,28	32,32***	Aug. 16	0,56	11.59-03.19
125F***	31,85	31,73	31,90	32,31	32,31	Mär. 11	0,00	11.59-03.19
128F***	33,04	32,40	32,40	33,05	33,24	Jun. 62	0,19	11.59-03.19
108F***	32,38	32,67	32,97	33,64	33,64	Mär 11	0,00	11.59-03.19
TB 6*	30,74	30,48	30,56	30,15	30,96 (31,00 ***)	Mai 61	0,81	11.59-03.19
TB 7 *	30,30	30,71	30,61	30,44	31,43	Feb. 61	0,99	11.59-03.19
TB 8 *	30,94	30,84	30,85	30,60	31,09	Jun. 61	0,49	11.59-08.19
L 1054*	--	30,92	--	--	31,06 (31,10 ***)	Apr. 81	--	11.65-19.97
P 446 F**	--	--	--	30,57	30,77	Feb. 11	0,20	6.99-8.19
TB 11**	31,17	30,38	30,29	30,05	31,44 (31,53 ***)	Dez..60	1,39	11.59-08.19

*Datenquelle LINEG ** Datenquelle SWK ***Datenquelle elwas

Bei der Interpretation ist immer auch der Messzeitraum der Messstelle zu berücksichtigen. Gleichzeitig werden die Grundwasserstände der gleichen Messstelle von den zur Verfügung stellenden Datenquellen teilweise unterschiedlich angeben, was auf eine nicht harmonisierte Umstellung im Höhenbezugssystem zurückgeführt werden kann.

Grundsätzlich lag der dem Grundwassermodell zugrunde liegende Grundwasserstand von Mai 2011 damit auf einem sehr hohen Grundwasserstandsniveau.

7.3 Der Bemessungsgrundwasserstand an der Messstelle TB 15

7.3.1 Messtechnische Zuschläge auf den gemessenen Grundwasserhöchststand

Die Messung der Grundwasserstände erfolgt in bestimmten festgelegten zeitlichen Abständen von einer Woche, einem Monat oder z. B. halbjährlich. Je kürzer der Abstand zwischen den Messungen, desto genauer gibt die aus diesen Messwerten aufgezeichnete Grundwasserganglinie die Schwankungen der Grundwasserstände wieder.

Je größer der Abstand zwischen den Messungen ist, desto eher besteht die Möglichkeit, dass der mit der Grundwasserganglinie dargestellte Grundwasserverlauf nicht dem wirklichen Verlauf entspricht und damit ggf. höhere (oder niedrigere) Grundwasserstände nicht registriert bzw. gemessen wurden.

In [8] und [9] wurden hierzu Auswertungen vorgenommen, die zeigten das in Abhängigkeit von der Wahl des Messrhythmus der Grundwasserstandmessung temporäre Anstiege der Grundwasserstände „übersehen“ bzw. nicht registriert werden. So lag der maximale Anstieg des Grundwasserstandes an ausgewählten Messstellen bei monatlichen Messungen bei 0,38 bis 0,58 m bei wöchentlichen Messungen aber schon bei 0,41 m.
Der vorliegenden Auswertung liegen monatliche Messungen zugrunde. Somit muss unterstellt werden, dass auch zum Zeitpunkt der hier gemessenen höchsten Grundwasserstände derartige Spitzen nicht erfasst wurden und real eventuell höhere Grundwasserstände vorlagen. Daraus folgt, dass in Abhängigkeit vom Messrhythmus ein Zuschlag auf den gemessenen Grundwasserhöchststand erfolgen muss. Dieser wurde gemäß [8] und [9] bei einem monatlichen Messrhythmus mit 0,25 m angesetzt.

7.3.2 Fachtechnische Zuschläge auf den gemessenen Grundwasserhöchststand TB 15

Die Grundwasserstände der Messstelle TB 15 repräsentieren nicht die unbeeinflussten Grundwasserstände im Untersuchungsraum. Vielmehr sind aus hydrogeologischer Sicht begründete Zuschläge auf den o. g. Grundwasserstand erforderlich, die im Folgenden aufgeführt werden:

- Die Entwicklung der Grundwasserstände in der TB 15 wird seit Mitte der 80er Jahre stark von den Auswirkungen der Grundwasserhaltungsmaßnahme Rislerdyk beeinflusst.

Insbesondere bei hohen Grundwasserständen und damit verbunden hohen Fördermengen der Grundwasserhaltungsmaßnahme der LEG lag die TB 15 im Einzugsgebiet der Absenkung. So lag z. B. der im Februar 2011 mit 31,28 m ü. NN gemessene Grundwasserstand um ca. 0,15 bis 0,20 m niedriger, als an weniger stark von Grundwasserentnahmen beeinflussten Grundwassermessstellen innerhalb des Stadtgebietes.

- Die hohen Grundwasserstände der 2010 er Jahre lagen an der TB 15 etwa 20 bis 40 cm niedriger als in Messstellen im Zu- bzw. Abstrom.
- Der an der Messstelle TB 15 höchste gemessene Grundwasserstand aus dem Jahre 1961 (31,54 mNHN) entwickelte sich unter dem Einfluss erheblich höherer industrieller Grundwasserentnahmen, als diese heute vorkommen. Aus den uns zur Verfügung stehenden Unterlagen kann abgeleitet werden, dass sich die industriellen Grundwasserentnahmen im Krefelder Stadtgebiet von rund 48 Mio. m^3/a (1970) über ca. 35 Mio. m^3/a (1985) auf heute rund 26 Mio. m^3/a reduziert haben.
- Die Reduzierung der industriellen Entnahmen im direkten Zustrom zur Maßnahme lässt sich mit etwa 2 Mio. m^3/a in Bezug auf die öffentliche Trinkwasserversorgung und weitere rund 2 Mio. m^3/a auf die industrielle Brauchwasserversorgung abschätzen. Diese heute im Grundwasserleiter wieder verfügbare Wassermenge im Zustrom des Untersuchungsgebietes, wird zwangsläufig zu höheren Grundwasserständen führen. Eindrucksvoll zeigt die **Abbildung 7** die Entwicklung der Grundwasserstände im Zustrom (P 126) und Abstrom (TB 15). Die abweichende Entwicklung der Grundwasserstände ab Mitte der 90er Jahre ist wesentlich auf die Reduzierung von Grundwasserentnahmen zurückzuführen.

Die Ableitung des Bemessungsgrundwasserstandes für die Messstelle TB 15 ist der **Tabelle 12** zu entnehmen. Der höchste zu erwartende Grundwasserstand an der Messstelle kann mit **31,99** bis **32,04**[9] **mNHN** abgleitet werden.

Die in den vorherigen **Kapiteln 7.2** nach anderen Methoden abgeleiteten höchsten Grundwasserstände stimmen gut mit der Ableitung der höchsten zu erwartenden Grundwasserstandes am TB 15 überein.

Die Datengrundlage für die Ableitung des Bemessungs**grundwasser**standes kann als gut bezeichnet werden. Die größten Unsicherheiten liegen dabei in der Abschätzung der Grundwasseranstiege aus der Reduzierung der Entnahmemengen der Industrie.

[9] Legt man die Angaben von elwasweb zugrunde muss dieser 4 cm höher, bei bis zu 32,08 mNHN liegen

Tabelle 12: **Ableitung des zu erwartenden Grundwasserhöchststandes für die Messstelle TB 15**

	gemessener Grundwasserhöchststand [mNHN]	**Zulage** [m]	**Zu erwartender Grundwasserhöchststand inkl. Zulage** [mNHN]
höchster gemessener Grundwasserstand TB 15	31,54		
Zuschlag wg. monatlichem Messrhythmus		+ 0,25	31,79
Zulage wegen der Reduzierung industrieller Entnahmen*		+ 0,2 bis 0,25 **	**31,99 bis 32,04**

*: Angaben von X bis Y immer von Westen nach Osten **: geschätzt

8 Aufbau des numerischen Modells

Als Grundlage für das hydrogeologische Modell dieser Machbarkeitsstudie diente das kalibrierte Modell gemäß [9] („Projektstudie zur Optimierung der Grundwasserabsenkungsmaßnahme Rislerdyk für das Objekt Rislerdyk, Wallenburgdyk und Bönnersdyk, Krefeld“ (04.03.2014)). Für die Berechnungen zu der Machbarkeitsstudie wurden drei Situationen betrachtet:

- Ausgangssituation (aktive Wasserhaltung Rislerdyk),
- Planungssituation 1 (ohne Wasserhaltung Rislerdyk),
- Planungssituation 2 (ohne Wasserhaltung Rislerdyk, zehGW).

Für die **Ausgangssituation** diente die Stichtagsmessung vom 24.05.2011 als Grundlage der Modellkalibrierung. Das Modell wurde in der Folgezeit auf den Stichtag 09.10.2014 neu kalibriert, welche im Folgenden auch als Ausgangssituation für die Berechnungen dient.

Die **Planungssituation 1** entspricht der Ausgangssituation mit ausgeschalteter Förderung der LEG-Brunnen. Für die **Planungssituation 2** (zu erwartende höchste Grundwasserstände, zehGW) wurde der allgemeine Grundwasserstand im Modell durch eine Anhebung der südlichen und nördlichen Festpotenziale erhöht. Als Grundlage für die Kalibrierung dienten extreme Grundwasserstände, die aus langjährigen Zeitreihen abgeleitet wurden (**Kap. 6**).

Bei allen drei Berechnungen wurde die Förderung der WGA Horkesgath/Bückerfeld zu den Rahmenbedingungen am 24. Mai 2011 beibehalten.

8.1 Modellabgrenzung

Die Modellränder liegen außerhalb des Aussageraumes, so dass die Randbedingungen diesen nicht direkt beeinflussen. Der nordwestliche und der südöstliche Modellrand entsprechen dem Verlauf von Strompfaden, so dass über diese Modellgrenzflächen kein Wasseraustausch stattfindet. Im Modell strömt das Grundwasser in nordöstliche Richtung von der südwestlichen zur nordöstlichen Modellgrenze. Das Modellgebiet schließt die Wassergewinnungsanlage Horkesgath-Bückerfeld mit ein und umfasst eine Gesamtfläche von ca. 3,4 km² (**Abbildung 14**). Die untere Modellgrenze entspricht der Quartärbasis.

Grundlage der Modellabgrenzung waren neben den vorhandenen Grundwasserstandsdaten auch großräumige Grundwassergleichenpläne zu den Teilstockwerken aus dem

Wasserrechtsantrag zur Wassergewinnungsanlage Horkesgath-Bückerfeld, die durch die Stadtwerke Krefeld zur Verfügung gestellt wurden.

Der Aussageraum, wird grob durch den Verlauf der Blumenstraße, des Nassauerrings, der Moerserstrasse und des Hökendyks umrissen (**Abbildung 14 und Anlage 1.2**). In diesem Modellbereich liegen die Brunnen der bestehenden Wasserhaltung Rislerdyk, sowie die Brunnen der zu bewertenden Varianten zur geplanten Wasserhaltung.

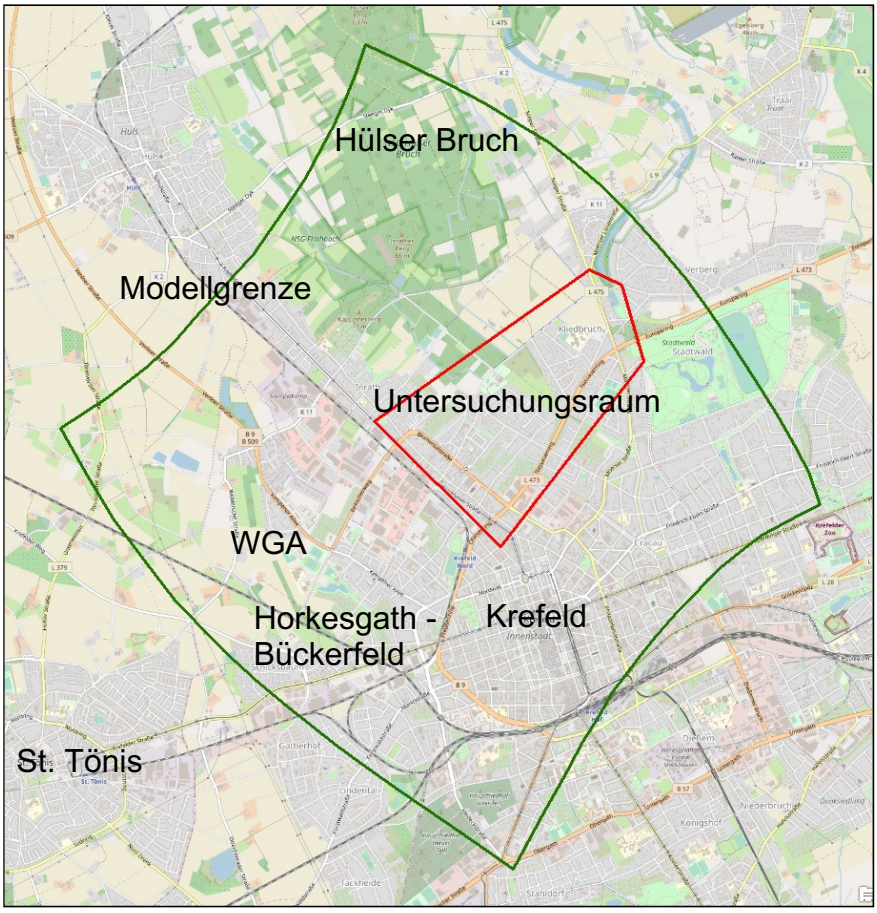

Abbildung 14: Lage des Modellgebietes mit Untersuchungsraum

8.2 Horizontale Diskretisierung

Das Modellnetz besteht aus ca. 200.000 Knoten. Im Bereich der Wasserhaltung Rislerdyk sowie den untersuchten Bereichen möglicher neuer Brunnenstandorte wurde das Modellnetz zur numerischen Abbildung der stärkeren Strömungsgradienten feiner diskretisiert. Darüber hinaus wurde auch der Absenkungsbereich der Wassergewinnungsanlage Horkesgath feiner diskretisiert.

8.3 Vertikale Diskretisierung

Die vertikale Diskretisierung berücksichtigt die hydrostratigrafischen Einheiten im betrachteten Aquifer. Die Zuordnung der Modellebenen zu den Schichtgrenzen geht aus der **Abbildung 15** hervor. Darüber hinaus wurden zusätzliche Ebenen eingefügt, um die tendenziell mit der Tiefe zunehmende Vergröberung des Sediments im Modell abbilden zu können.

Darüber hinaus ermöglicht die Untergliederung der Niederterrasse in vier Schichten eine hohe Auflösung der vertikalen Strömungskomponenten im Nahbereich der Brunnen der Wasserhaltung Rislerdyk.

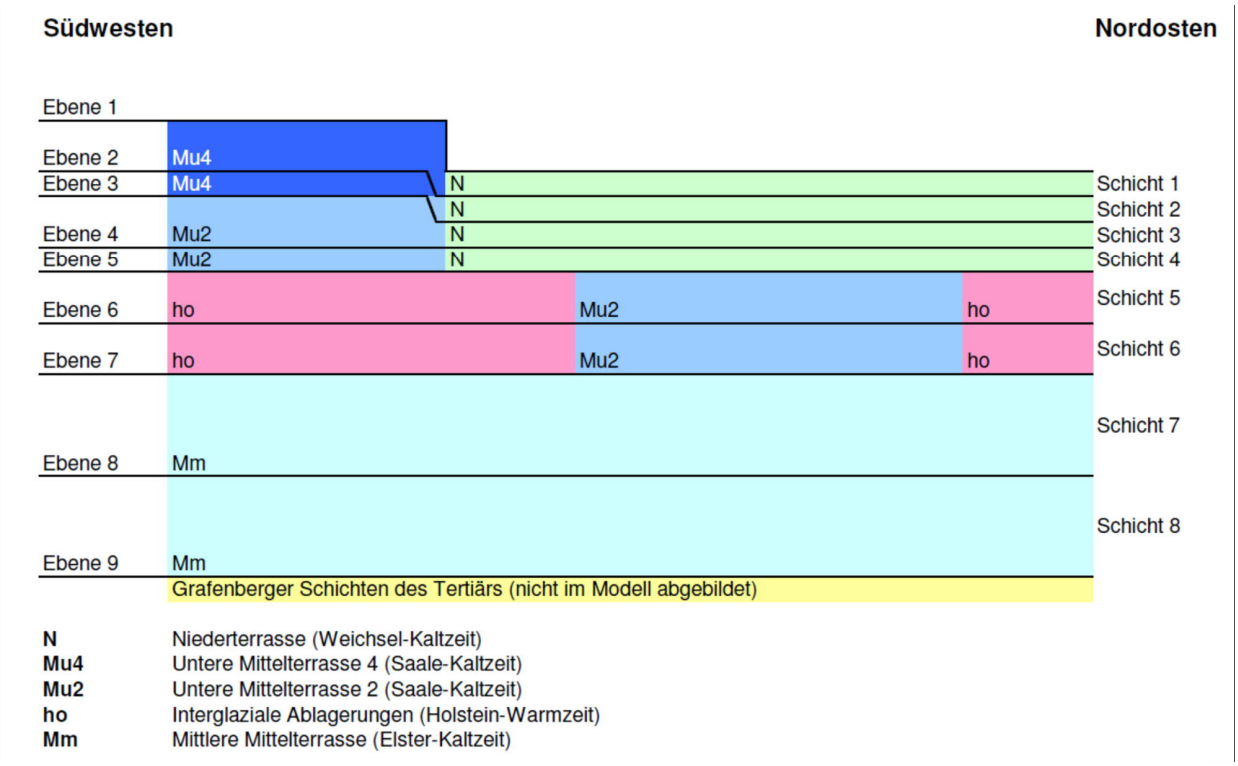

Abbildung 15: Vertikale Modelldiskretisierung und Zuordnung der stratigraphischen Einheiten

Die **Abbildung 16** zeigt (stark überhöht) die absoluten und relativen Höhenlagen der Modellebenen 1 (Geländeoberkante), 5 und 7 (Ober- und Unterkante der Interglazialsedimente in deren Verbreitungsbereich) sowie 9 (Quartärbasis).

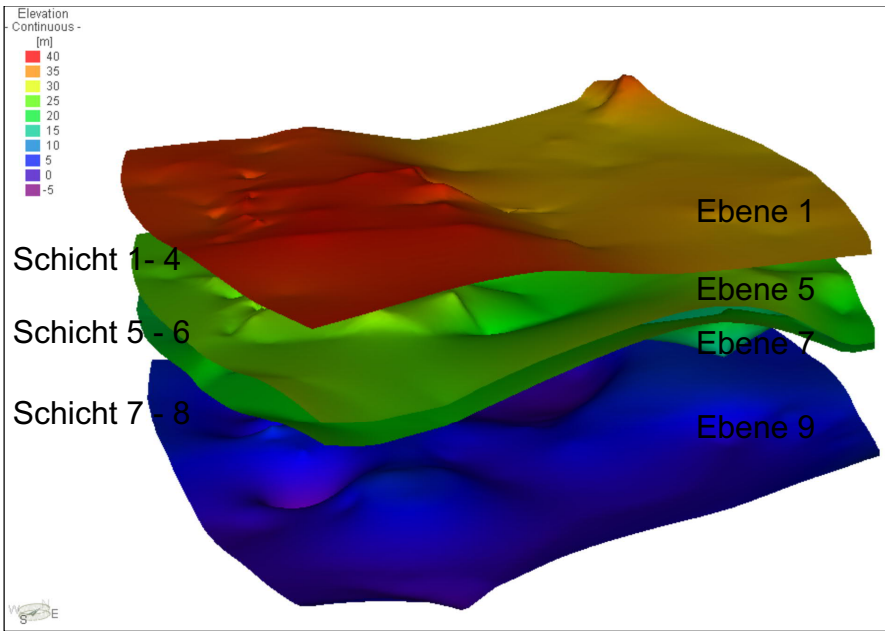

Abbildung 16: 3D-Darstellung der Modellebenen 1, 5, 7 und 9 (mNHN, Blickrichtung NNW)

8.4 Randbedingungen

Der Zu- und Abstrom des Grundwassers am südwestlichen bzw. nordöstlichen Modellrand wird im Modell über Festpotenziale (Randbedingung der 1. Art) festgelegt. Die Wertebelegung wurde auf der Basis der vorliegenden Messwerte sowie der Grundwassergleichenpläne zu den Teilstockwerken aus dem Wasserrechtsantrag zur Wassergewinnungsanlage Horkesgath-Bückerfeld festgelegt.

An den Modellrändern im Verbreitungsbereich des Holstein-Interglazials wird die hydraulische Differenzierung der Teilstockwerke des Grundwasserleiters durch unterschiedliche Potenziale ober- und unterhalb der geringdurchlässigen Schichten abgebildet.

Die Grundwasserneubildung wurde über eine flächige Randbedingung der 2. Art als fester Zustrom im oberen, gesättigten Bereich des quartären Grundwasserleiters angesetzt.

8.5 Parameterbelegung des Grundwassermodells

8.5.1 Durchlässigkeitsbeiwert (k_f-Wert)

Die Zuordnung der k_f-Werte im Modell erfolgte zunächst auf Basis der vorliegenden Informationen zur geologischen Struktur und der verfügbaren Werteangaben zu den Durchlässigkeitsbeiwerten. Innerhalb des betrachteten quartären Aquifers wechseln die auftretenden stratigraphischen Einheiten räumlich sowohl vertikal als auch horizontal. Sie weisen unterschiedliche

petrographische Ausbildungen auf. Darüber hinaus nehmen die Durchlässigkeiten zur Basis des Grundwasserleiters über dessen gesamte Mächtigkeit in der Regel zu.

Die vertikale Durchlässigkeit in geschichteten Aquiferen ist im Allgemeinen deutlich geringer als die horizontale Durchlässigkeit. Zur vertikalen Durchlässigkeit des quartären Aquifers sind keine Angaben verfügbar. Da die vertikale Durchlässigkeit eine maßgebliche Einflussgröße bezüglich des Untersuchungsziels ist, wurde sie im Grundwassermodell zunächst pauschal mit 10% der horizontalen Durchlässigkeit angesetzt und anschließend im Rahmen der Modellkalibrierung ermittelt. Die im Modell angesetzten k_f-Werte sind in der **Tabelle 13** zusammengefasst.

Tabelle 13: k_f-Werte des Modells für den quartären Aquifer

stratigrafische Einheit	Modellschicht	k_f (horizontal)	k_f (vertikal)
Niederterrasse (N)	Schicht 1	$7{,}5*10^{-4}$ m/s	$3{,}75*10^{-4}$ m/s
	Schicht 2	$8{,}0*10^{-4}$ m/s	$4{,}0*10^{-4}$ m/s
	Schicht 3	$9{,}0*10^{-4}$ m/s	$4{,}5*10^{-4}$ m/s
	Schicht 4	$1{,}0*10^{-3}$ m/s	$7{,}5*10^{-4}$ m/s
Untere Mittelterrasse 4 (Mu4)	Schicht 1	$5{,}0*10^{-4}$ m/s	$2{,}5*10^{-4}$ m/s
	Schicht 2	$1{,}5*10^{-3}$ m/s	$7{,}5*10^{-4}$ m/s
Untere Mittelterrasse 2 (Mu2)	Schicht 3/5	$7{,}5*10^{-4}$ m/s	$3{,}75*10^{-4}$ m/s
	Schicht 4/6	$1{,}5*10^{-3}$ m/s	$7{,}5*10^{-4}$ m/s
Holstein-Interglazial (ho)	Schicht 5/6	$5{,}0*10^{-9}$ m/s	$5{,}0*10^{-9}$ m/s
Mittlere Mittelterrasse (Mm)	Schicht 7	$7{,}5*10^{-4}$ m/s	$5{,}0*10^{-4}$ m/s
	Schicht 7 (unterhalb Niederterrasse)	$1{,}5*10^{-3}$ m/s	$1{,}0*10^{-3}$ m/s
	Schicht 8	$1{,}5*10^{-3}$ m/s	$3{,}0*10^{-4}$ m/s
	Schicht 8 (unterhalb Niederterrasse)	$2{,}0*10^{-3}$ m/s	$1{,}0*10^{-3}$ m/s

8.5.2 Grundwasserneubildung

Die Grundwasserneubildung wird im Untersuchungsraum i. W. durch den Grad der Versiegelung beeinflusst. Im Siedlungsbereich sind zudem lokal Beeinflussungen durch Regenwasserversickerungen sowie Ex- und Infiltrationen am Abwasser- und Trinkwasserleitungsnetz möglich.

Im Modellgebiet wurden zunächst die Bereiche mit geringer Versiegelung (z. B. Hülser Bruch) und starker Versiegelung (Siedlungs- und Gewerbeflächen) unterschieden und mit einer Neubildungsrate von 180 mm bzw. 100 mm belegt.

Im Rahmen der Modellkalibrierung wurden Teilbereiche gebildet und die Werte der Grundwasserneubildung innerhalb der jeweils plausiblen Spanne variiert. In der **Abbildung 17** sind die abschließend im Modell angesetzten Werte und ihre Verteilung dargestellt.

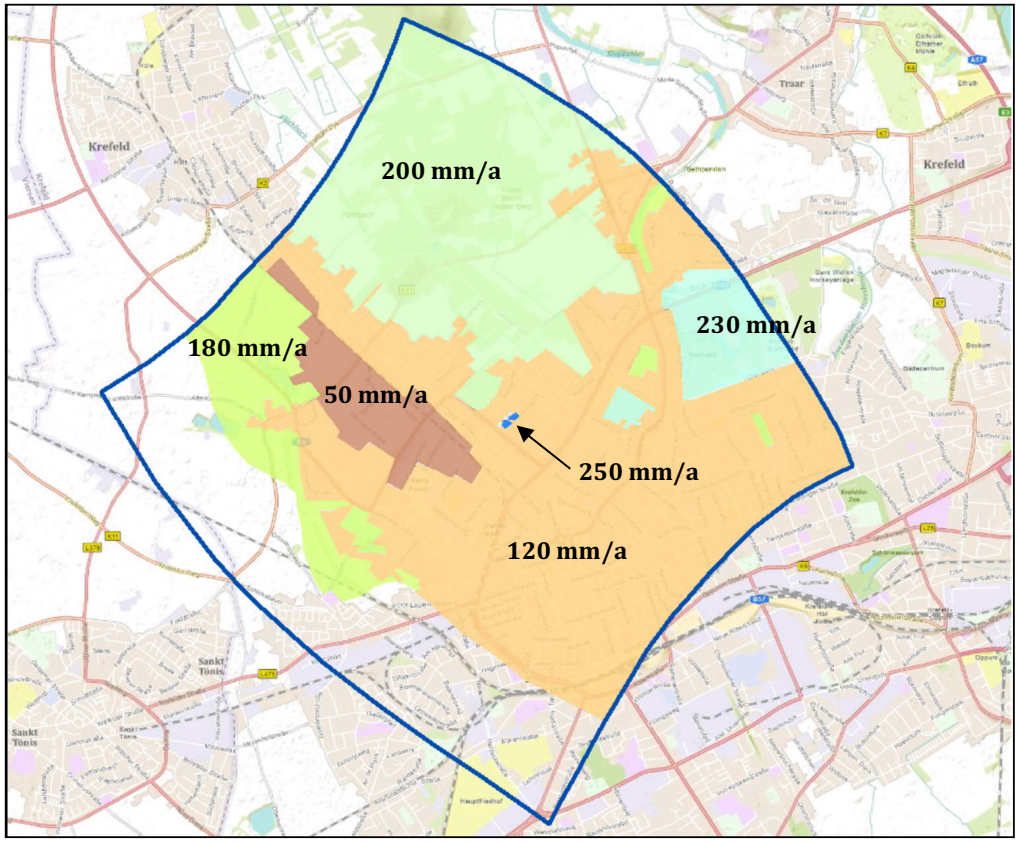

Abbildung 17: Verteilung der Grundwasserneubildung im Modell

8.5.3 Porenvolumen

Das speichernutzbare Porenvolumen liegt bei den Terrassenablagerungen zwischen 21 und 23 %. Im Modell wurde für die sandig-kiesigen Sedimente ein Wert von 22 % angesetzt. Für die tonig-schluffigen Sedimente des Interglazials wurde ein Wert von 5 % angesetzt. Im Rahmen der Untersuchungen wurden ausschließlich stationäre Rechenläufe durchgeführt, so dass die Wertbelegung des speichernutzbaren Porenvolumens keinen Einfluss auf die errechneten Grundwasserpotenziale hat.

8.5.4 Speicherkoeffizient

Als spezifischer Speicherkoeffizient wird im Modell pauschal ein Wert von $1*10^{-5}$ angesetzt. Wie das speichernutzbare Porenvolumen hat auch der Speicherkoeffizient keinen Einfluss auf die errechneten Grundwasserpotenziale stationärer Rechenläufe.

8.6 Brunnen und Entnahmemengen

Die Grundwasserentnahme der Wasserhaltung Rislerdyk erfolgt in der Neukalibrierung vom 09.10.2014 über zwei Vertikalbrunnen mit den in der **Tabelle 14** aufgelisteten Stammdaten. Die Brunnen wurden mit Bohrdurchmessern von 600 mm (Br. 2_{neu}) bzw. 1000 mm (Br. 3) hergestellt und sind entsprechend ihrem jeweiligen Ausbau im Grundwassermodell zwischen den Modellebenen 3 bis 6 (Br. 2_{neu}) und 4 bis 7 (Br. 3) als Multilevelbrunnen abgebildet.

Für die Planungssituationen ohne Entnahme LEG wurden die Förderraten der Multilevelbrunnen auf null gestellt.

Tabelle 14: Stammdaten der Brunnen der Wasserhaltung Rislerdyk

Name	Lage (Rechts/Hoch)	Ausbau-durch-messer	Filteroberkante (m u. GOK)	Filterunterkante (m u. GOK)	UK Filterkies (m u. GOK)	GOK (m ü. NN)
Br. 2neu	2538510/ 5690380	DN 400	7,0	12,0	16,0	34,00
Br. 3	2538558/5690454	DN 750	7,0	13,0	17,0	33,35

Im Modellgebiet befinden sich neben den drei Brunnen der Wasserhaltung Rislerdyk noch 12 aktive Brunnen der Brunnengalerie der Wassergewinnungsanlage Horkesgath-Bückerfeld (**Tabelle 15**). Diese Brunnen sind unterhalb des dort verbreiteten Holstein-Interglazials im gespannten unteren Teilstockwerk des quartären Aquifers verfiltert.

Tabelle 15: Stammdaten der aktiven Brunnen der WGA Horkesgath-Bückerfeld

Teilanlage	Name	Lage (Rechts/Hoch)
Horkesgath	Br.2a	2537139/5688758
	Br.3	2537085/5688800
	Br.3a	2537059/5688816
	Br.9	2536752/5689260
	Br.10	2536729/5689308
	Br.11	2536709/5689352

Teilanlage	Name	Lage (Rechts/Hoch)
	Br.12	2536688/5689395
Bückerfeld	Br.13	2536465/5689759
	Br.14	2536454/5689834
	Br.15	2536441/5689926
	Br.16a	2536454/5689977
	Br.17	2536413/5690124

8.7 Modellkalibrierung und Modellprüfung

Die Kalibrierung des numerischen Grundwassermodells erfolgte unter Bezug auf den Stichtag 24.05.2011. Das zum Stichtag 24.05.2011 kalibrierte Modell wurde auf den Stichtag 09.10.2014 neu kalibriert. Diese Kalibrierung dient im Folgenden als Ausgangssituation.

Zum 24.05.2011 wurde bereits in vorausgehenden Untersuchungen ein Grundwassergleichenplan für die weitere Umgebung der Wasserhaltung Rislerdyk unter Verwendung von Messdaten verschiedener Messstellenbetreiber erstellt.

Durch die WGA Horkesgath-Bückerfeld wurden am Referenztag der Kalibrierung (24.05.2011) 4.495 m³ (Horkesgath) und 2.786 m³ (Bückerfeld) entnommen. Diese Mengen verteilten sich auf 7 (Horkesgath) bzw. 5 (Bückerfeld) in Betrieb befindliche Brunnen. Die Entnahmemenge am 24.05.2011 lag um ca. 17 % (Horkesgath) bzw. 8 % (Bückerfeld) über der mittleren täglichen Entnahmerate.

Durch die Wasserhaltung Rislerdyk erfolgte zur Grundwasserabsenkung am 24.05.2011 eine Wasserentnahme aus dem Brunnen 2 in Höhe von 960 m³ (entspricht 40 m³/h) und aus dem Brunnen 3 in Höhe von 2.352 m³ (entspricht 98 m³/h). Aus dem Brunnen 1 erfolgte keine Entnahme. Unter Ansatz der zusammengestellten Grundwasserstände und Entnahmeraten erfolgte die Kalibrierung des Grundwassermodells.

Die zum Abgleich verwendeten Messstellen (zum Teil Doppelmessstellen mit Filterstellungen im oberen und unteren Teilstockwerk) sind in der **Abbildung 18** dargestellt.

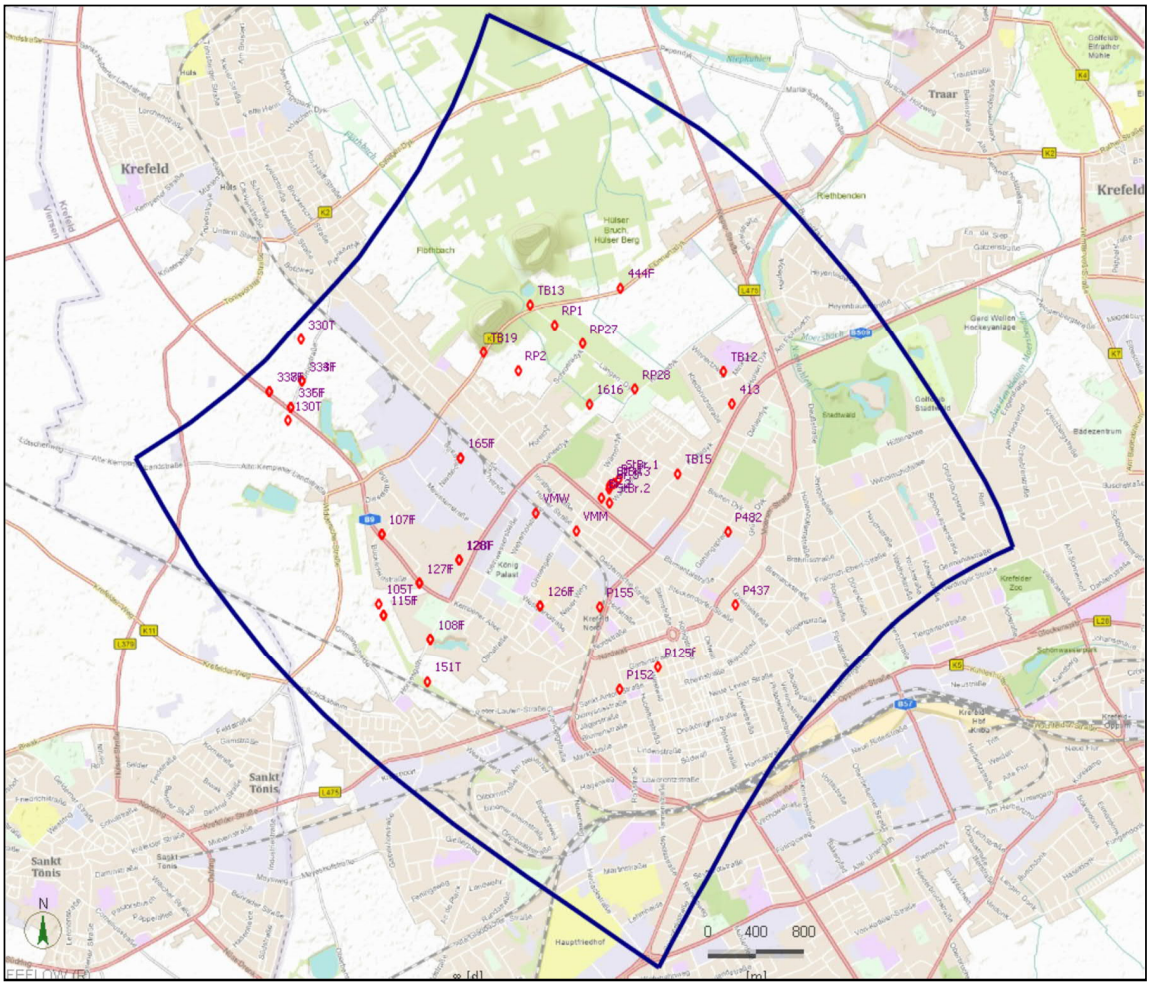

Abbildung 18: Referenzmessstellen der Kalibrierung

Dabei wurden die weiteren, unbekannten Modellparameter innerhalb plausibler Spannweiten variiert, bis eine weitgehende Übereinstimmung der gemessenen und errechneten Grundwasserstände gegeben war (**Abb. 19**). Die Modellwerte wurden an den Koordinaten der Messstellen in der Modellebene abgegriffen, die hinsichtlich ihrer Höhenlage der Filtermitte der Messstelle zuzuordnen ist. Der Grundwasserstand der Absenkungsbrunnen wurde im Modellnetz im Abstand des Bohrradius vom Entnahmeknoten abgegriffen. Mit der Anpassung der Modellparameter konnte eine sehr gute Übereinstimmung der gemessenen und berechneten Werte erreicht werden.

Für die Messstellen im Modellraum ist das Ergebnis der Kalibrierung des Grundwassermodells in der **Tabelle 16** und in der **Abbildung 19** dargestellt. Die Differenz zwischen Modellierung und Messwert beträgt im Aussageraum zwischen 0 und 19 cm. An der als Referenzpegel i. d. R. herangezogenen Messstelle TB 15 beträgt sie 6 cm.

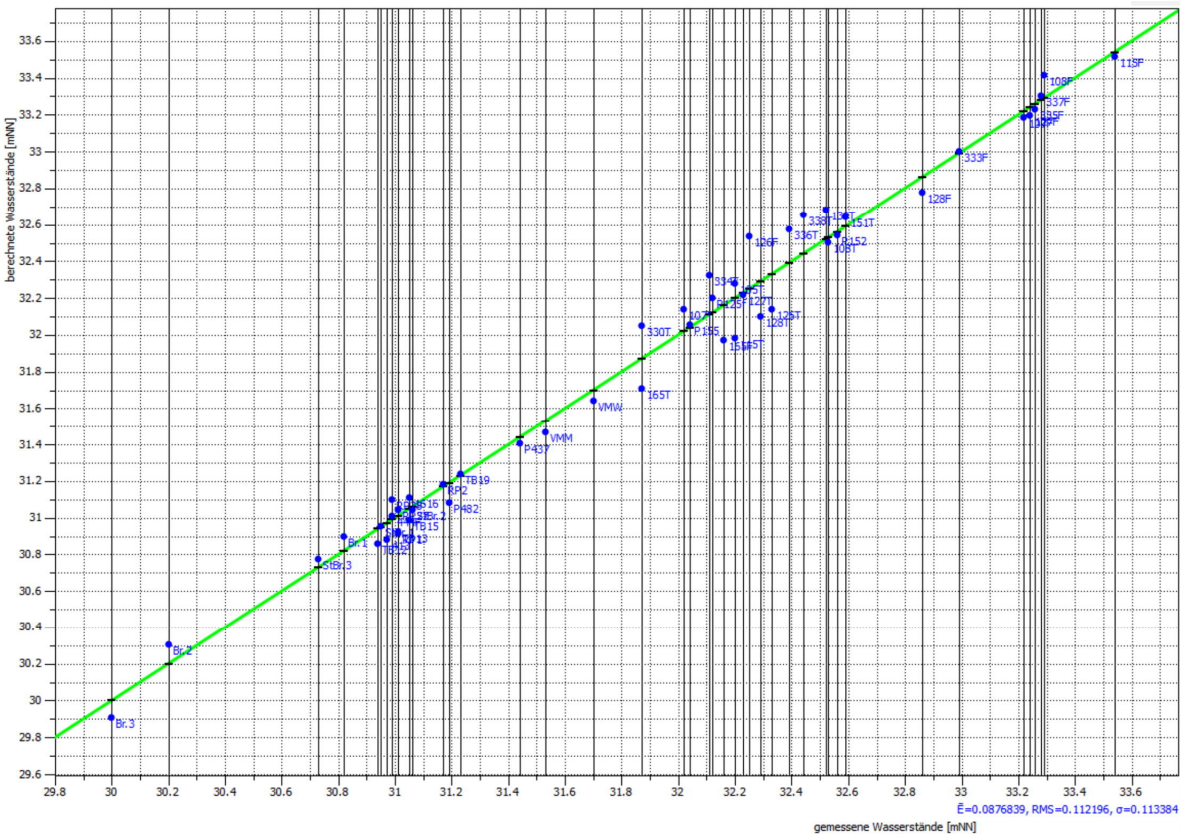

Abbildung 19: Vergleich der gemessenen und berechneten Grundwasserstände zum 24.05.2011

Die im Vergleich zum Vorzeitraum allgemein relativ hohen Grundwasserstände am 24.05.2011 sind angesichts des tendenziell ansteigenden Grundwasserstands im Bereich der Wasserhaltung Rislerdyk repräsentativ. Auch die Entnahme der WGA Horkesgath-Bückerfeld liegt im mittleren Bereich.

Neben dem hohen Grad der Anpassung zwischen den gemessenen und den gerechneten Werten, belegt auch das plausible Gesamtströmungsbild eine hohe Aussagesicherheit des Grundwassermodells der Ausgangssituation. So kann im Modell auch die durch Messungen belegte Herausbildung einer Grundwasserkuppe im südlichen Hülser Bruch infolge eines vertikalen Teilabstroms von Grundwasser in das untere Teilstockwerk, nachvollzogen werden.

Tabelle 16: Gemessene und berechnete Grundwasserstände zum 24.05.2011 im Aussageraum und am Standort der Messstelle TB 15

Messstelle	gemessener Grundwasserstand (mNHN)	berechneter Grundwasserstand (mNHN)	Differenz
Br.1 (Entnahmebrunnen 1)	30,84	30,92	+ 0,08 m
Br.2 (Entnahmebrunnen 2)	30,22	30,33	+ 0,11 m
Br.3 (Entnahmebrunnen 3)	30,02	29,93	- 0,09 m
StBr.1 (Steuerbrunnen 1)	30,97	30,97	± 0,00 m
StBr.2 (Steuerbrunnen 2)	31,08	31,06	- 0,02 m
StBr.3 (Steuerbrunnen 3)	30,75	30,79	+ 0,04 m
Messstelle TB 15	31,07	31,01	- 0,06 m

Zum Stichtag 09.10.2014 erfolgte dann eine Nachkalibrierung (**Anlage 1.9**) mit folgenden Entnahmemengen:

- Br.1: 0 m³/h,
- Br. 2 neu: 2.040 m³/d,
- Br. 3: 1.800 m³/d.

Die Situation "mit Entnahme LEG" zeigt eine Situation mit Basis Nachkalibrierung (Stichtag 09.10.2014), mit geänderten Förderraten, da zwischenzeitlich der Brunnen 1 stillgelegt und der Brunnen 2 durch den Brunnen 2 neu ersetzt wurde (**Anlage 1.10**).

Für die Situation "zehGW" wurden die Randbedingungen (Ränder des Modells) mit einem Offset versehen (**Anlage 1.14**). Darüber hinaus wurde auf der Basis langjähriger Messreihen zum Grundwasserstand an sechs Messstellen die Situation der höchsten zu erwartenden Grundwasserstände abgebildet.

Die Berechnungen der Variantenvergleiche (**Kapitel 11.3**) basiert auf der Nachkalibrierung zum Stichtag 09.10.2014 ohne Entnahme LEG. Diese Ausgangssituation wurde dann mit den entsprechenden Entnahmeraten und Brunnenstandorten modifiziert.

9 Ergebnisse der Modellberechnungen

Allen Rechenläufen liegt folgendes Schema zugrunde:

- Kalibrierung auf die Stichtagsmessung vom 24.05.2011, welche einen hohen Grundwasserstand repräsentiert.

- Nachkalibrierung auf die Stichtagsmessung 09.10.2014.
- Bezogen auf die vorliegende Zeitreihe der Grundwasserstandsmessungen am TB 15 liegen nur rund 10 % aller dokumentierten Grundwasserstandsmessungen über dem am Stichtag 24.05.2011 ermittelten Grundwasserstand von 31,07 mNHN. Absolut liegt der Grundwasserstand allerdings rund 0,47 m unter dem höchsten gemessen Grundwasserstand am TB 15.
- Berücksichtigung einer leicht überdurchschnittlichen Entnahme an der WGA Horkesgath-Bückerfeld an dem o. g. Stichtag mit folgenden Fördermengen:
    - Teilanlage Horkesgath: 4.495 m^3/Tag,
    - Teilanlage Bückerfeld: 2.786 m^3/Tag,
    - Gesamtsumme: 7.281 m^3/Tag (ca. 303 m^3/h).
- Darstellung der Grundwassergleichen für den oberflächennahen Grundwasserleiter

9.1 Berechnungen zum Stichtag 9.10.2014 mit LEG-Förderung

Im Arbeitsgebiet liegt eine nach ENE gerichtete Grundwasserfließrichtung mit Grundwasserständen von rund 31,75 mNHN nach Osten abnehmend auf rund 30,10 mNHN (**Anlage 1.9**) vor. Deutlich ist die Ausbildung des Entnahmetrichters durch die Entnahmen der LEG aus den beiden Entnahmebrunnen. Zur nördlichen Grenze des Arbeitsgebietes zeichnet sich eine schwache „Aufwölbung“ der Grundwasserstände ab. Diese entsteht letztlich durch die hier wechselnde Verbreitung des Interglazials. Mit Einschaltung des Interglazials reduziert sich die Mächtigkeit des Grundwasserleiters und es kann im Verbreitungsgebiet des Interglazials zu einem Aufstau kommen. In dem Gebiet ohne Interglazial liegt eine höhere Mächtigkeit des Grundwasserleiters.

Der abgeleitete Grundwasserstand an der Messstelle TB 15 liegt bei etwa 31,25 mNHN bei einer Gesamtförderrate der LEG-Anlage von 3.840 m^3/d (rund 1,4 Mio m^3/a).

9.2 Berechnungen zum Stichtag 9.10.2014 ohne Entnahmen LEG

In der Modellierung wurden gegenüber der in **Anlage 1.9** dargestellten Situation die Entnahmebrunnen der LEG ausgeschaltet (**Anlage 1.10**).

Die Grundwasserfließrichtung ist nach wie vor nach ENE gerichtet mit Grundwasserständen von rund 32,25 mNHN im Westen und rund 30,20 mNHN im Osten. Durch die Abschaltung der LEG-Brunnen sind die Grundwasserstände damit rechnerisch um rund 0,4 bis 0,5 m angestiegen.

Der abgeleitete Grundwasserstand an der Messstelle TB 15 liegt bei etwa 31,64 mNHN bei einer Gesamtförderrate der LEG-Anlage von 0 m^3/d.

9.3 Grundwassergleichenplan mit höchsten zu erwartenden Grundwasserständen

Die Grundwasserströmungsverhältnisse für die Situation der höchsten zu erwartenden Grundwasserstände sind für die Niveaus des unteren und des oberen Teilstockwerks in der **Anlage 1.12** dargestellt. Für die Bewertung des Strömungsbildes im Modell in Bezug auf die abgeleiteten höchsten zu erwartenden Grundwasserstände (zehGW in **Anlage 1.12**) wurden die abgeleiteten Werte denen der Simulation gegenübergestellt. Die zum Abgleich verwendeten Messstellen zeigt **Abbildung 20**.

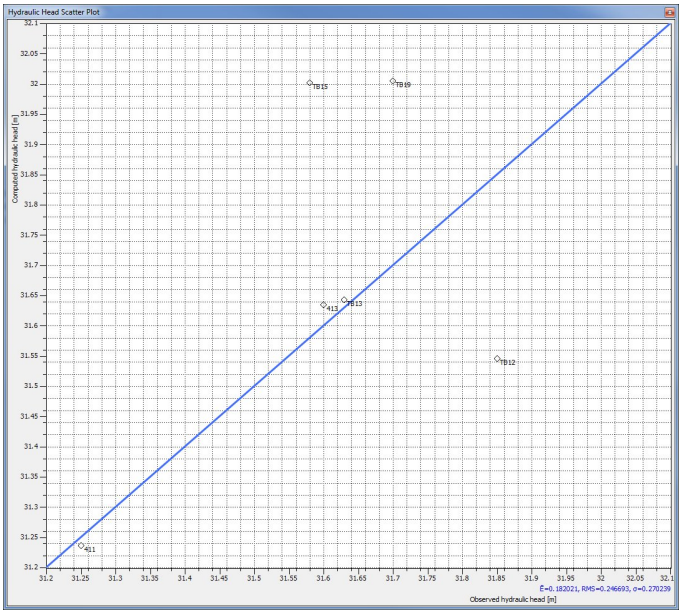

Abbildung 20: Vergleich der gemessenen und berechneten Grundwasserhöchststände

Zur Überprüfung der Aussagen wurden ein höchster zu erwartender Grundwasserstand mit dem Grundwassermodell unter folgenden Rahmenbedingungen berechnet:

- Einstellung der Grundwasserentnahmen im Bereich des Untersuchungsgebietes,
- Beibehaltung der Förderung der WGA Horkesgath/Bückerfeld zu den Rahmenbedingungen am 24. Mai 2011,
- Weiterhin wurden für im Untersuchungsraum bzw. im unmittelbaren Umfeld liegende Messstellen die gemessenen Grundwasserhöchststände bestimmt und berücksichtigt.
- pauschales Anpassen der Randbedingungen durch Erhöhung der Wasserstände der Randbedingungen an den Modellrändern zur Berücksichtigung der gegenüber dem Zustand der Kalibrierung allgemein höheren Grundwasserstände

Die Grundwasserstände wurden unter diesen Rahmenbedingungen so angehoben, dass sich an der, im Allgemeinen als Referenzmessstelle herangezogenen Grundwassermessstelle TB 15, ein abgeleiteter höchster Grundwasserstand **von 32,00 mNHN** einstellt.

Die Anpassung an die abgeleiteten Werte der Messstellen 413, TB 12 und TB 13 sind gut, die Differenz beträgt maximal 0,03 Meter (**Tabelle 17**). Die Abweichung der Messstellen TB 12, TB 15 und TB 19 betragen -0,30 Meter, +0,46 Meter und +0,31 Meter.

Die hohe Abweichung an der Messstelle TB 15 lässt sich damit begründen, dass der TB 15 im Absenkungsbereich der Förderung der LEG liegt und daher die gemessenen höchsten Grundwasserstände gegenüber den Messungen im weiteren Umfeld verringert waren (**Kapitel 7.2.5**).

Tabelle 17: Gemessene und abgeleitete Grundwasserhöchststände im Aussageraum und am Standort der Messstelle TB 15

Messstelle	gemessener Grundwasserhöchststand (mNHN)	berechneter Grundwasserstand (mNHN)	Differenz
Messstelle 411	31,23	31,24	-0,01 m
Messstelle 413	31,56	31,63	+0,07 m
Messstelle TB 12	31,85*	31,55	-0,30 m
Messstelle TB 13	31,73	31,64	-0,09 m
Messstelle TB 15	31,54	32,00	+0,46 m
Messstelle TB 19	31,65	32,01	+0,36 m

*: April 1962

Bei analoger Grundwasserfließrichtung werden im Westen Grundwasserstände von rund 32,50 mNHN und im Osten von rund 30,75 mNHN errechnet. Ohne die Entnahmen der Wassergewinnungsanlage Horkesgath-Bückerfeld würden die Grundwasserstände im Bereich der Wasserhaltung um weitere 0,15 m ansteigen.

9.4 Flurabstandskarten

In den **Anlagen 1.11** und **1.13** sind für die berechneten Zustände:

- Stichtag 09.10.2014 ohne Entnahmen LEG,
- höchster zu erwartender Grundwasserstand (zehGW)

die Differenz der Geländeoberkante und der berechneten Grundwasserstände (Flurabstand) dokumentiert.

Insgesamt liegen in weiten Bereichen Flurabstände von < 2 m vor. Für den Zustand „zehGW“ sind dabei insbesondere die Grünzüge sowie die nördlichen Randgebiete nahezu flächig mit flurnahen Grundwasserständen < 1 m gekennzeichnet. Aus der Gegenüberstellung der beiden

Karten wird der Uhrglaseffekt mit flächig höheren Flurabständen im Siedlungsraum östlich des Grünzuges Kliedbruch deutlich. Im Bereich westlich des Grünzuges Kliedbruch liegen flächig insgesamt geringere Flurabstände von < 1,75 m vor.

Aus der **Abbildung 21** wird beispielhaft für die Straßenzüge Josef-Brocker-Dyk und Breitendyk deutlich, dass im Detail im Bereich einzelner Gebäude höhere Flurabstände vorliegen als in den rückwärtig gelegenen Gärten. Dies ist i.d.R. dem Umstand geschuldet, dass die Gebäude gegenüber dem Umfeld, im Wissen um die Grundwasserproblematik, höher gelegt wurden.

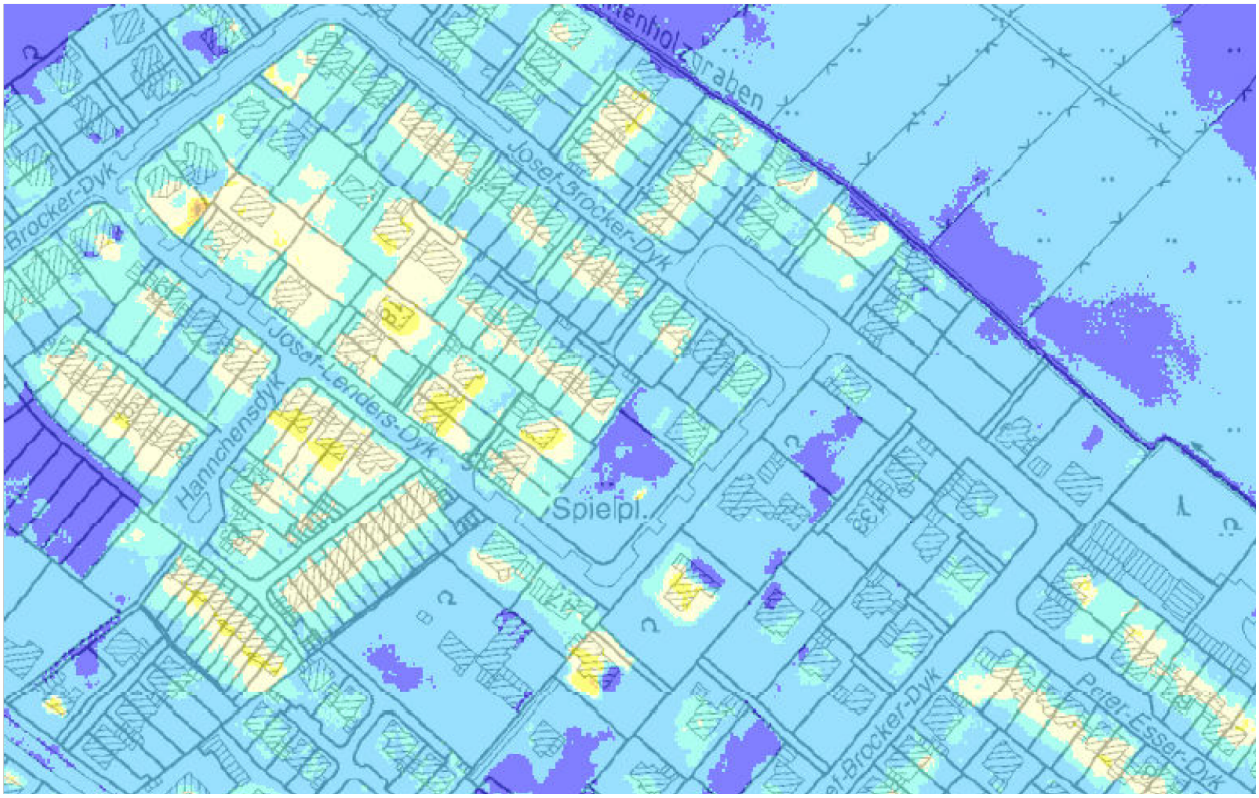

Abbildung 21: Auszug Flurabstandskarte ohne Entnahme LEG (Referenz 09.10.2014)

9.5 Grundwasserdifferenzenplan

In den **Anlagen 1.14** und **1.15** sind Grundwasserstanddifferenzenpläne dargestellt für die Zustände:

- Höchster zu erwartender Grundwasserstand (zehGW) zu Stichtagsmessung 09.10.2014 mit Entnahmen LEG zu (**Anlage 1.14**),
- Höchster zu erwartender Grundwasserstand (zehGW) zu Stichtagsmessung 09.10.2014 ohne Entnahmen LEG zu (**Anlage 1.15**)

Im durch die Entnahmen in den Förderbrunnen der LEG erzeugten Entnahmetrichter treten die höchsten Differenzen von 0,8 bis 2,5 m im direkten Umfeld der Brunnen auf (**Anlage 1.14**). Für den Aussageraum wären in der Fläche, durch die Einstellung des Betriebes der Förderbrunnen (**Anlage 1.15**), um etwa 0,5 bis 0,7 m höhere Grundwasserstände zu erwarten. Die Differenz nimmt abstromig, das heißt nach Osten, auf Werte < 0,5 m ab.

10 Ableitung von Vorzugs- bzw. Betroffenheitsräumen

Durch seine flurnahen Grundwasserstände weist der Untersuchungsraum vom Grundsatz her schon eine hohe Gefahr auf, das bauliche Einrichtungen „in das Grundwasser gebaut“ wurden. Letztlich musste für diese Gebäude eine Gebäudeabdichtung gegen „drückendes Wasser“ berücksichtigt werden, sofern diese unterkellert waren oder nicht höher gelegt wurden.

Das Grundwasser unterliegt Schwankungen. Mit diesen Schwankungen ist eine zeitliche Dimension einer möglichen Betroffenheit verbunden. Je tiefer das Gebäude in das Grundwasser gebaut wurde, desto größer ist der Zeitraum, in dem das Gebäude überhaupt Kontakt zum Grundwasser haben kann. Ein Gebäude dessen Kellerbodenplatten nur gering unter das Niveau eines höchsten Grundwasserstandes reicht ist damit auch deutlich weniger – zeitlich – betroffen. Sofern dieses Gebäude dann keine funktionierende Abdichtung gegenüber drückendem Wasser aufweist kann natürlich ein Schadensereignis eintreten, sprich der Keller wird „nass“.

Die Ableitung der Betroffenheit von Gebäuden durch hohe Grundwasserstände kann verfahrensbedingt ausdrücklich nicht gebäudebezogen erfolgen. Alle im Folgenden gemachten Angaben beziehen sich auf Vorzugsräume, ohne ausschließen zu können, dass im Untersuchungsgebiet Gebäude/Räume trotzdem eine hohe Betroffenheit durch hohe Grundwasserstände ausgesetzt sind oder diese keine fachgerechte funktionierende Abdichtung gegenüber drückendem Wasser aufweisen.

10.1.1 Raumbezug / Straßenzüge

Bei der Ableitung der räumlichen Betroffenheit kann auf folgende Kriterien zurückgegriffen werden:

- die Geländehöhen in den Siedlungsbereichen westlich wie östlich des Grünzuges Kliedbruch schwanken zwischen rund 33 und 34 mNHN,
- insbesondere westlich des Grünzuges Kliedbruch sind Senken um 32,50 mNHN vorhanden, die aber i.W. von Kleingartenvereinen genutzt werden,
- östlich des Grünzuges Kliedbruch existiert eine Senke südlich des Minkweges,
- häufig liegen die straßenparallel angeordneten Gebäude höher als ihr Umfeld, das heißt sie wurden bewusst, in Anbetracht der Grundwasserproblematik, höher gelegt,
- die Grundwasserstände sind aufgrund des Fließgradienten westlich des Grünzuges Kliedbruch höher als östlich des Grünzuges,
- die Flurabstände in den besiedelten Räumen sind westlich des Grünzuges Kliedbruch geringer als östlich des Grünzuges Kliedbruch,

- für den Bereich östlich des Grünzuges Kliedbruch resultiert daraus der schon beschriebene „Uhrglaseffekt“ im Siedlungsraum mit nahezu flächig höheren Flurabständen.

Daraus resultiert, dass der Bereich westlich des Grünzuges Kliedbruch eine relativ höhere Betroffenheit gegenüber höheren Grundwasserständen aufweist.

10.1.2 Höhenlagen von Kellerbodenplatten

Für die Gebäude innerhalb des Aussageraumes liegen in aller Regel keine belastbaren Angaben vor über:

- die Höhenlage der Oberkante der Kellerbodenplatten,
- die Stärke der Kellerbodenplatte und damit der Unterkanten der Kellerbodenplatten.

Folgende **Tabelle 18** gibt exemplarisch für wenige Gebäude die Höhenlage der Oberkante der Kellerbodenplatten auf der Basis von vorhandenen Vermessungsdaten[10] an. Die aufgeführten Gebäude liegen alle westlich des Grünzuges Kliedbruch.

Die Stärke der Bodenplatte wurde pauschal mit 0,3 m angesetzt, so dass nur überschlägig eine Höhenlage der Unterkante der Bodenplatte abgeschätzt werden konnte. Zum Vergleich sind auch die Unterkanten der Bodenplatten der LEG-Gebäude aufgeführt. Es lassen sich vier „Gruppen“ ableiten:

- Unterkante Bodenplatte < 31,0 mNHN,
- Unterkante der Bodenplatte zwischen 31,00 und 31,30 mNHN,
- Unterkante der Bodenplatte zwischen 31,30 und 31,75 mNHN,
- Unterkante der Bodenplatte > 31,75 mNHN.

Mit Ausnahme von zwei Gebäuden liegen nur die Unterkanten der Bodenplatten der Gebäude der LEG unter 31,15 mNHN. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Errichtung der Gebäude der LEG ein Planungsfehler zugrunde lag.

Für die übrigen Gebäude liegen die Unterkanten der Bodenplatten meist bei über 31,40 mNN.

[10] Die Daten wurden über den Verein der Pumpengemeinschaft zur Verfügung gestellt.

Tabelle 18: Beispielhafte Lage der Unterkanten von Kellerbodenplatten für westlich des Grünzuges Kliedbruch gelegenen Gebäuden

	Adresse	Höhe [mNHN]	Oberkante Kellerbodenplatte [mNHN]	Boden-platte* [m]	Unterkante Kellerbodenplatte** [mNHN]	
	Leykesdyk 35	32,95	31,03	0,30	30,73	
	Schweersweg 1	33,03	31,72	0,30	31,42	
	Schweersweg 4, 6	33,03	31,65	0,30	31,35	
	Bönnersdyk 1	33,44	31,95	0,30	31,65	
	Bönnersdyk 9, 19,	33,84	31,95	0,30	31,65	
	Bönnersdyk 37	33,74	31,75	0,30	31,45	
	Bönnersdyk 45	33,84	31,94	0,30	31,64	
	Bönnerdyk 63	33,83	32,16	0,30	31,86	
	Bönnerdyk 85	33,70	31,81	0,30	31,51	
	Bönnerdyk 83	33,92	31,79	0,30	31,49	
	Krüllsdyk 78	33,28	31,79	0,30	31,49	
	Krüllsdyksiedlung 3	32,84	31,22	0,30	30,92	
	Bönnersdyk 36 ff	33,77	32,26	0,30	31,96	
	SZ Wilmendyk Bauteil A		31,88	0,30	31,58	
	SZ Wilmendyk Bauteil B		31,74	0,30	31,44	
	SZ Wilmendyk Bauteil C Neu		31,98	0,30	31,68	
	SZ Wilmendyk Bauteil C Alt		31,98	0,30	31,68	
	SZ Wilmendyk Bauteil D		32,46	0,30	32,16	
	SZ Wilmendyk Bauteil E		31,88	0,30	31,58	
	SZ Wilmendyk Bauteil E		31,88	0,30	31,58	
	SZ Wilmendyk Bauteil F		31,88	0,30	31,58	
	Breitendyk 70	33,16	31,85	0,30	31,55	
	Breitendyk 104	32,74	31,51	0,30	31,21	
	Breitendyk 114	32,82	31,77	0,30	31,47	
	Breitendyk 120	32,72	31,60	0,30	31,3	
	Breitendyk 140	32,97	31,43	0,30	31,13	
	Breitendyk 158	33,03	31,98	0,30	31,68	
LEG	Bönnersdyk 2-12				31,14 -31,16	
	Bönnersdyk 14-24				31,19-31,21	
	Bönnersdyk 26-30				30,74 – 30,75	
	Rislerdyk 10 -20				30,78-30,80	
	Rislerdyk 22-32				31,14 - 31,16	
	Wallenburgdyk 71-77				31,05-31,07	
	Wallenburgdyk 79-85				31,13-31,12	
	Wallenburgdyk 87-97				30,89-30,90	
	Wallenburgdyk 99-109				30,88-30,91	
	UK Kellerbodenplatte< 31,00				UK Kellerbodenplatte 31,30 bis 31,75	
	UK Kellerbodenplatte 31,00 bis 31,29				UK Kellerbodenplatte > 31,75	

*: Annahme zur Stärke der Bodenplatte **: abgeleitete rechnerische Höhe der Unterkante Kellerbodenplatte

In erster Näherung kann daraus eine erforderliche Absenkhöhe der Grundwasserspitzen im und Bönnersdyk 47 bis 70 bzw. untergeordnet im Bereich der Gebäude Wilmendyk (Seniorenzentrum) von 31,40 bis 31,50 mNHN angenommen werden. In der **Abbildung 22** wurde die langjährige Entwicklung der Grundwasserstände an der Messstelle TB 15 mit dem Raum Wilmendyk (Seniorenzentrum) und Bönnersdyk 47 korreliert. Hierzu wurde der gemessene Grundwasserstand an der Messstelle TB 15 um einen „Zuschlag“ von 0,125 bis 0,175 m erhöht. Bezogen auf die abstromig gelegene Grundwassermessstelle TB 15 entspräche dies einem hier gemessenen Grundwasserstand von rund 31,20 bis 31,35 mNHN. Gemäß **Abbildung 7** wurde ein Grundwasserstand > 31,20 mNHN in der Messstelle TB 15 über den Zeitraum seit Nov. 1959 statistisch in rund 15 % aller monatlich durchgeführten Messungen überschritten. In absoluten Zahlen wurden an 80 von 713 Stichtagen ein Grundwasserstand ≥ 31,10 mNHN gemessen.

In der **Abbildung 22** ist das Einsetzen der Kappung der Grundwasserstände durch die Aufnahme der Tätigkeit von Förderbrunnen für die aktuelle LEG-Anlage (bezogen auf die Straße Bönnersdyk) wie auch ein Vorschlag für die zukünftige Kappung dargestellt.

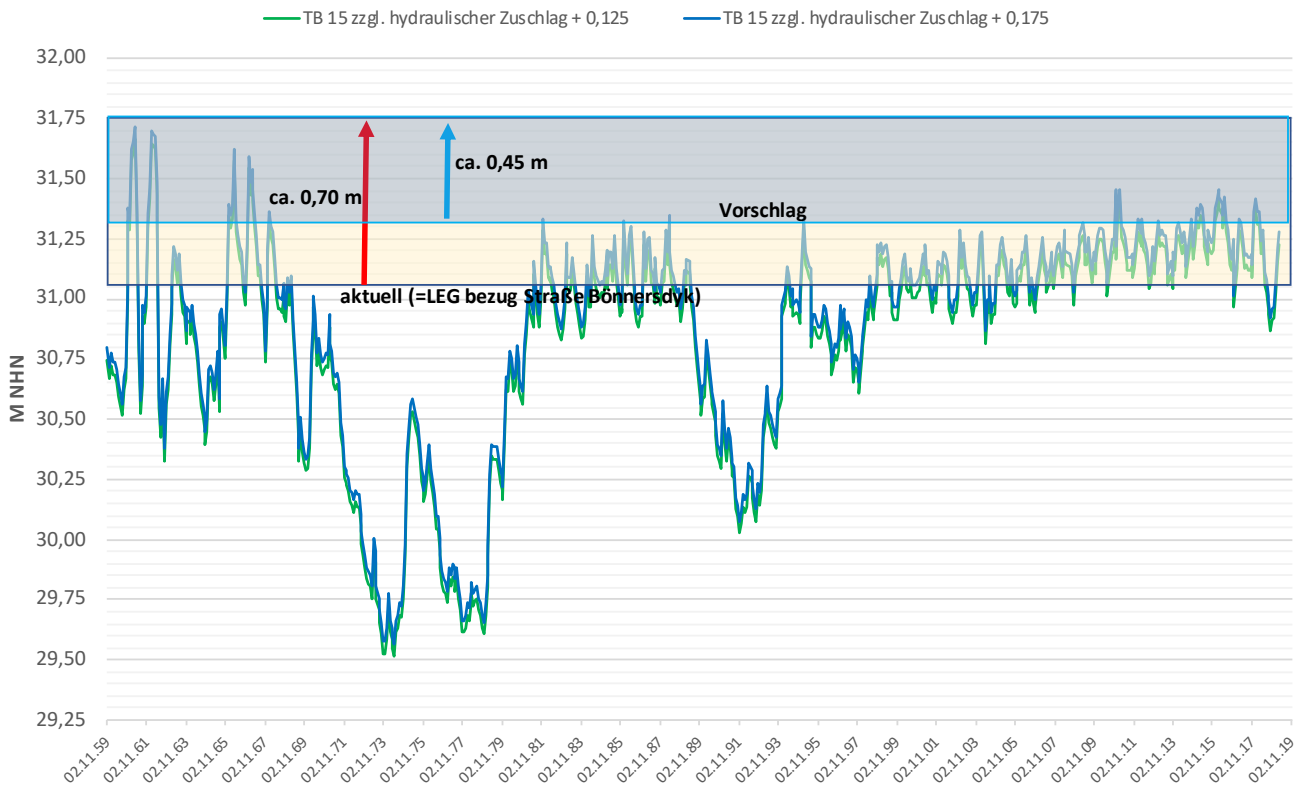

Abbildung 22: Darstellung der Grundwasserkappung im Raum Bönnersdyk / Wilmendyk abgeleitet aus den gemessenen Grundwasserständen an der Messstelle TB 15

Zukünftig sollte eine Kappung der Grundwasserspitzen ab einer mNHN von rund 31,30/31,40 einsetzen. Der Wert liegt unterhalb des o.g. Grundwasserstandes von 31,40/31,50 mNHN, da die Förderpumpen eine gewisse „Vorlaufzeit“ benötigen.

Der vorgeschlagene Grundwasserstand bei dem eine automatisiert gesteuerte Niveauregulierung (Kappung) einsetzen sollte, liegt damit rund 0,25 bis 0,3 m über dem Niveau, ab dem aktuell eine Förderung der LEG Brunnen erfolgt.

Daraus ist zukünftig eine Reduzierung der Anlagenlaufzeiten zu erwarten. Rückblickend auf die Grundwasserstände der vergangenen knapp 60 Jahre (TB 15) folgt daraus, dass ein Anlagenbetrieb nur in den Jahren 1960-1963, 1965-1968 und von 2009 bis 2018 sowie weitere Einzeljahre erforderlich gewesen wäre (=19 Jahre). Demgegenüber wäre ein Anlagenbetrieb der LEG-Anlage über einen Zeitraum von rund 37 Jahren notwendig gewesen. Bezogen auf die Verhältnisse der letzten fast 60 Jahre würde sich der zu erwartende Zeitraum des Anlagenbetriebes damit von rund 60 % auf rund 30% reduzieren.

Über den Anlagenbetrieb hat eine Anpassung und Konkretisierung dieses Vorschlages in der Realität erfolgen.

11 Machbarkeitsstudie

11.1 Wasserwirtschaftliche Maßnahmen

Zur Regulierung des Grundwasserstandes kommen, je nach hydrogeologischen Randbedingungen und je nach dem Ziel der Grundwasserbewirtschaftungsmaßnahme, folgende vier Grundwasser-Regulierungsmaßnahmen zum Einsatz:

- Offene Vorfluter,
- Dichtwände (ohne oder mit Grundwasserabsenkungsmaßnahmen),
- Brunnen,
- Dränagen.

11.1.1 Offene Vorfluter

Offene Vorfluter können als Gräben oder als Teiche angelegt werden und mit Pumpen oder Schöpfwerken versehen werden. Voraussetzung für eine Grundwasserbewirtschaftung ist in beiden Fällen, dass der offene Vorfluter in den Aquifer einschneidet und somit grundwasserregulierend wirkt.

Vorhandene Gräben sind bereits oft grundwasservorflutwirksam. Es ist aber auch möglich, vorhandene Gräben ohne aktuellen Grundwasseranschluss durch Vertiefung oder Aufweitung an den Aquifer anzubinden. Ebenso ist es möglich, grundwasservorflutwirksame Gewässer neu anzulegen.

Für offene Vorfluter werden immer ausreichende Platzverhältnisse benötigt. Offene Vorfluter können grundsätzlich mit großen Einschnitttiefen ausgebildet werden. Aus ökologischen Gründen und häufig auch aus Platzmangel kommen in der Regel jedoch nur geringe Einschnitttiefen zur Anwendung, welches den Einsatz offener Vorfluter auf geringe Absenkungsziele begrenzt. Bei entsprechenden Rahmenbedingungen können offene Vorfluter kostengünstig erstellt und betrieben werden.

Abbildung 23 zeigt für das Maßnahmengebiet einen Auszug aus der aktuellen Gewässerkarte der Stadt Krefeld (Stand 2017). Gräben sind überwiegend im Nordosten des Maßnahmengebietes vorhanden. Im Bereich westlich des Grünzuges Kliedbruch sind keine Gräben dargestellt.

Da gerade für den Bereich westlich des Grünzuges Kliedbruch die größte Betroffenheit zu erwarten ist, wäre aus fachgutachterlicher Sicht eine derartige Maßnahme nicht zielführend.

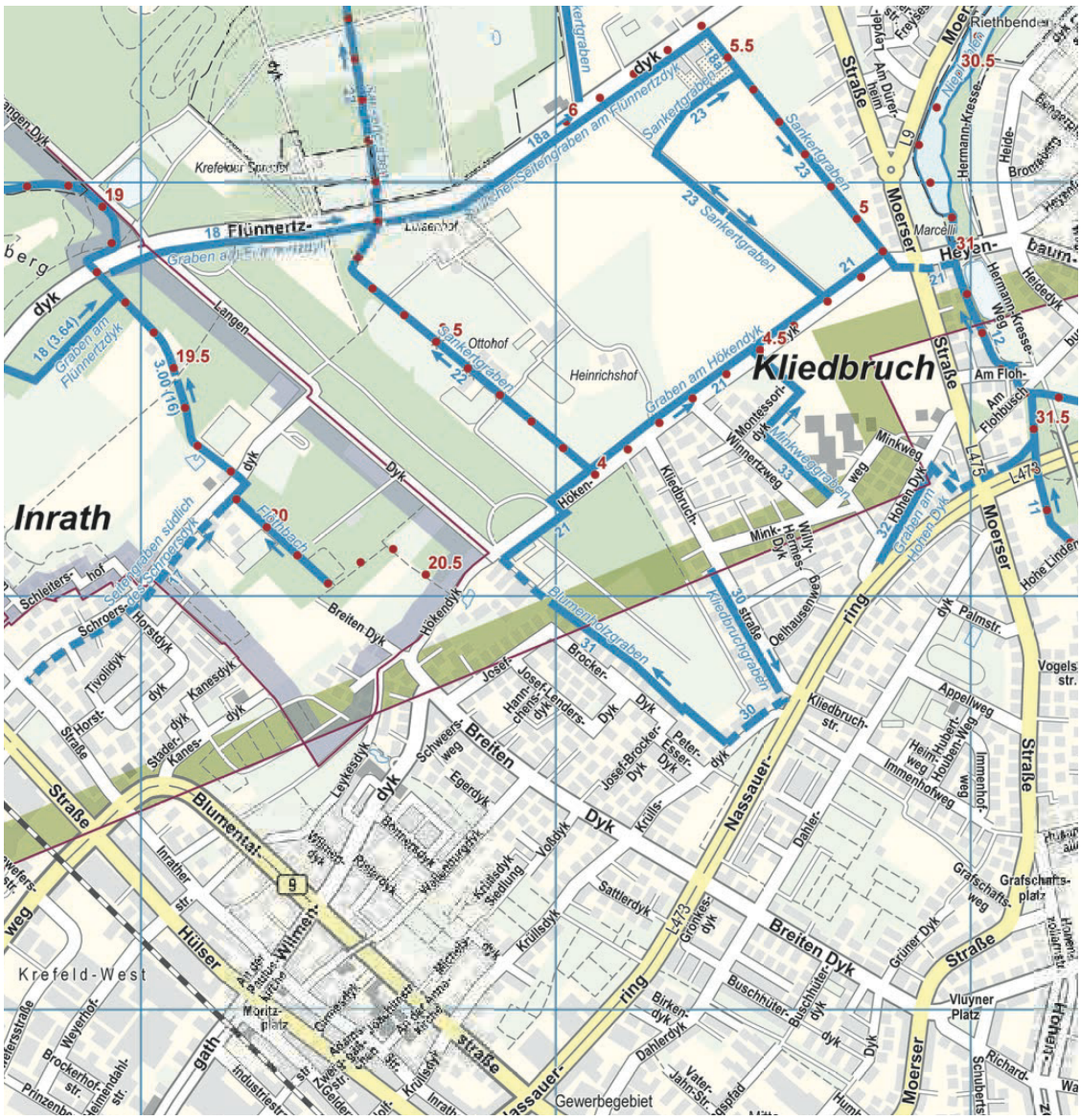

Abbildung 23: Auszug Gewässerkarte Stadt Krefeld (2017)

11.1.2 Dichtwände

Dichtwände kommen zum Einsatz, in dem um ein Objekt eine Umschließung mit einer quasi wasserdichten Wand erfolgt, die zur Tiefe hin in eine nicht oder nur geringdurchlässige Schicht einbindet.

Aufgrund der Größe der Fläche ist aus fachgutachterlicher Sicht eine derartige Variante nicht umsetzbar.

11.1.3 Brunnen und Dränagen

Vertikalfilterbrunnen kommen zur Anwendung, wenn der Grundwasserleiter Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $1 \bullet 10^{-2}$ bis $1 \bullet 10^{-5}$ m/s (durchlässig bis stark durchlässig) aufweist und somit ein weit reichender Absenkungstrichter erzielt werden kann.

Bei einem Vertikalfilterbrunnen erfolgt die Grundwasserentnahme über eine Tauchmotorpumpe (Brunnenpumpe), die in einem filterstabil ausgebauten vertikalen Bohrloch installiert wird. Der Bau von Vertikalfilterbrunnen erfordert einen geringen Platzbedarf.

Dränagen kommen als Grundwassserbewirtschaftungsmaßnahmen zum Einsatz, wenn bei ausreichenden Durchlässigkeiten des Untergrundes (Durchlässigkeitsbeiwert größer $5 \bullet 10^{-6}$ m/s) dauerhafte Absenkungen des Grundwassers vorgenommen werden sollen. Dränagen sind meistens nicht regulierbar und der Grundwasserstand stellt sich auf das Wasserspiegelniveau der teilgefüllten Dränage ein.

Brunnen und Dränagen können nur betrieben werden, wenn geeignete Ableitungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Als Vorflut können dabei Oberflächengewässer oder an Oberflächengewässer angeschlossene Regenwasserkanäle oder Entlastungskanäle dienen. Die Benutzung eines Gewässers bedarf gemäß § 8 Abs. 1 WHG grundsätzlich einer Wasserrechtlichen Erlaubnis oder Bewilligung. Ob das geförderte Grundwasser in ein Gewässer eingeleitet werden kann, ist unter anderem abhängig von dem hydrochemischen Zustand des gefassten Wassers, von der Wassermenge und von dem Zustand des Gewässers, in welches eingeleitet werden soll.

Eine Grundwasserabsenkung insbesondere mittels Vertikalbrunnen wird aufgrund der vorhandenen Infrastruktur als Vorzugsvariante gesehen. Das Anlegen von Dränagen benötigt mehr Flächen und scheitert i.d.R. an der Flächenverfügbarkeit.

11.2 Bedarfsanalyse

11.2.1 Raumbezug

Wie in den vorherigen Kapiteln ausgeführt ist für den Raum westlich des Grünzuges Kliedbruch die höchste Betroffenheit zu erwarten. In erster Näherung kann eine erforderliche Kappung der Grundwasserspitzen für den Bezugsraum Bönnersdyk 30 bis 70 und untergeordnet Wilmendyk 71 bis 78 ab einer Grundwasserstandshöhe 31,40 bis 31,50 m NN angenommen werden (**Anlage 1.16**) Bezogen auf die abstromig gelegene Grundwassermessstelle TB 15 entspräche dies einem hier gemessen Grundwasserstand von etwa 31,20 bis 31,35 mNHN.

Der Raum östlich des Grünzuges Kliedbruch weis leicht höhere Flurabstände auf als der Raum westlich des Grünzuges Kliedbruch, da diese Fläche bezogen auf die Fließrichtung des Grundwassers abstomig liegt. Werden westlich des Grünzuges Kliedbruch aktive Maßnahmen zur Kappung der Grundwasserspitzen durchgeführt, so haben diese auch Auswirkungen auf die Grundwasserstandshöhen östlich des Grünzuges Kliedbruch. Insofern ist zu erwarten, dass aktive Maßnahmen für den Raum östlich des Grünzuges Kliedbruch, wie in der Vergangenheit auch, nicht erforderlich werden.

Die vorhandenen Förderbrunnen der LEG befinden sich rund 125 bis 150 m zustromig zu dem Bezugsraum Bönnersdyk 30 bis 70.

11.2.2 Mengenbezug

In **Abbildung 24** ist der monatlich gemessene Grundwasserstand an der Messstelle TB 15 gegen die monatlichen Entnahmemengen, als Summe der Brunnen 2_{neu} und 3 der LEG-Anlage, für den Zeitraum Januar 2014 bis November 2018 aufgetragen. Da die Grundwasserstände in den letzten 2 Wochen eines Monats gemessen werden, besteht ausdrücklich kein exakter Zeitbezug.

Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass

- die Brunnen über eine Niveauregulierung der Grundwasserstände gesteuert werden. Die Brunnen „halten“ quasi den Grundwasserstand in dem Steuerpegel konstant. Um dieses zu erreichen erhöhen diese bei steigenden Grundwasserständen ihre Fördermengen,
- die Messstelle TB 15 liegt rund 600 m im südöstlichen Abstrom zum Brunnen 3,
- letztlich die Wasserentnahmen aus den o.g. Brunnen auch die Grundwasserstände in TB 15 beeinflussen,
- die Abbildung einen Zeitraum mit überwiegend hohen bis sehr hohen Wasserständen repräsentiert.

Obwohl die aufgestellte Beziehung zwischen Grundwasserstand im TB 15 und Entnahmemengen der Förderbrunnen 2_{neu} und 3 somit nur eine erste Näherung darstellen kann, zeigt **Abbildung 24** eine recht gute Korrelation.

Erwartungsgemäß steigen die Entnahmemengen mit der Höhe der Grundwasserstände. Bei Grundwasserständen am TB 15 um 30,80 bis 30,90 mNHN wurden Fördermengen um 70.000 bis 90.000 m^3/Monat erforderlich. Bei Grundwasserständen zwischen 31,20 und 31,30 mNHN steigen diese auf 125.000 bis 155.000 m^3/Monat an. Daraus ergibt sich für diese

Anlagenkonstellation pro 10 Zentimeter höhere Grundwasserstände eine ungefähre Erhöhung der Fördermenge abgeschätzt von rund 15.000 m^3/Monat. Die erforderliche Fördermenge steigt mit der Höhe der Grundwasserstände leicht an.

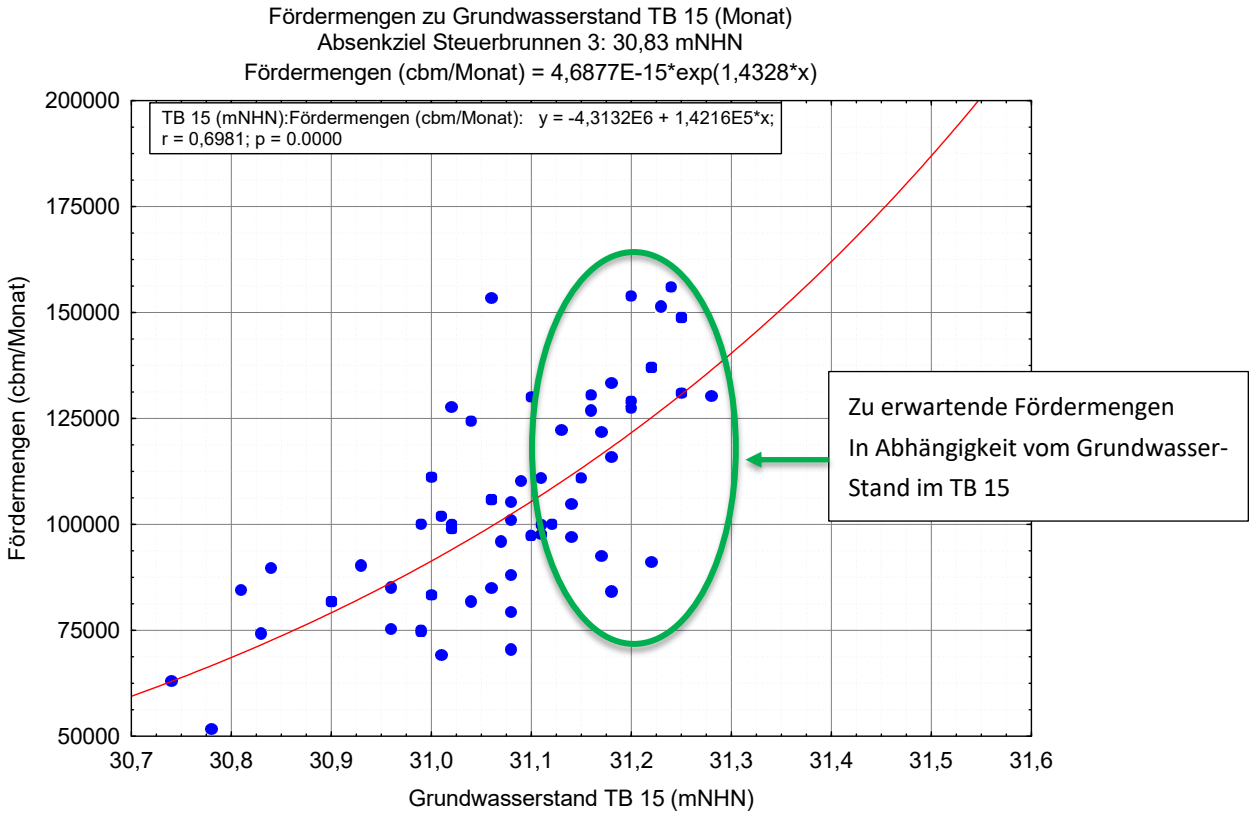

Abbildung 24: Beziehung zwischen der Fördermengen Anlage LEG (Brunnen 2 & 3) und dem Grundwasserstand am TB 15

11.3 Variantenberechnung mit dem Grundwassermodell

Für die zukünftige Wasserhaltung wurden fünf potenzielle Varianten mit Standorten von Brunnen modelltechnisch geprüft. Die optimale Positionierung der neuen Brunnen sollte im Bereich des o.g. Bezugsraumes Bönnersdyk 30 bis 70 liegen. Dies wird aus Gründen der Flächenverfügbarkeit nur schwer umsetzbar sein. Im Rahmen dieser Studie wurde in einer ersten Vorauswahl deswegen Flächen für neue Brunnen im Bereich von Grünanlagen angenommen. Dies sollte in einer späteren Detailplanung ggf. nochmals verifiziert werden.

Die Brunnen wurden für die Prognoserechnungen als Multilevelbrunnen vollkommen in das Modell integriert. Da sich der westliche Brunnen der Variante 2 und der nordöstlich gelegene

Brunnen der Variante 4 im Verbreitungsgebiet des Interglazials befinden, sind diese nur im oberen Grundwasserstockwerk verfiltert in das Modell integriert.

Variante 1 sieht einen Entnahmebrunnen im Grundwassermodell vor, die **Varianten 2 bis 5** sehen jeweils 2 Entnahmebrunnen vor. Die Brunnen wurden im Modell so eingestellt, dass sie innerhalb der jeweiligen Variante mit der gleichen Förderrate betrieben werden. Absenkziel ist für die Varianten 1, 2 und 4 ein Grundwasserstand von ca. 31,50 m NHN im Bereich des Bönnersdyk und für Variante 3 und 5 ein Grundwasserstand von ca. 31,40 m NHN. Die Lage der Brunnen der fünf untersuchten Varianten ist in **Abbildung 25** dargestellt. Die Vor- und Nachteile der Varianten sind der **Tabelle 20** zu entnehmen.

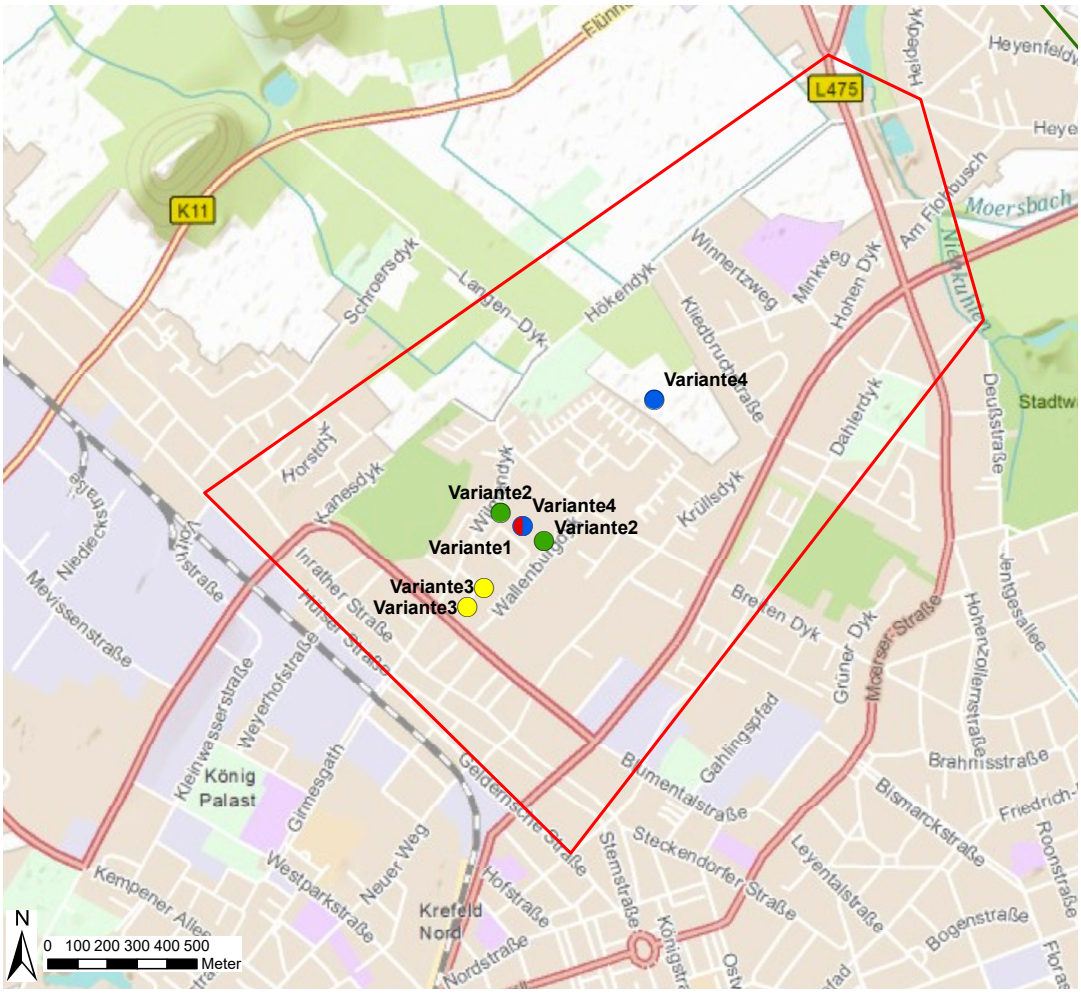

Abbildung 25: Potenzielle Lage von Brunnen zur Wasserhaltung (Variante 1: 1 Brunnen, Variante 2-5: je 2 Brunnen)

11.3.1 Variante 1

Für die Modellberechnung der Variante 1 wird im Bereich der Grünanlage zwischen Bönnersdyk und Egerdyk ein neuer zentraler Tiefbrunnen mit Steuerbrunnen gesetzt. Von dem Brunnen

erfolgt die Ableitung des gehobenen Grundwassers über eine neu zu setzende Druckleitung und deren Anschluss an die im Wilmendyk vorhandene Druckleitung.

Bezogen auf das in **Anlage 1.17** dargestellte Szenario und dem Absenkziel von 31,50 mNHN wurde eine erforderliche Fördermenge von rund 1.800 m^3 pro Tag berechnet. Die Seniorenresidenz am Wilmendyk wird von der 31,50 m Linie jedoch nicht erfaßt.

11.3.2 Variante 2

Für die Modellberechnung der Variante 2 werden im Bereich der Grünanlage zwischen Bönnersdyk und Egerdyk zwei neue Tiefbrunnen mit Steuerbrunnen gesetzt (**Anlage 1.18)**. Von den Brunnen erfolgt die Ableitung des gehobenen Grundwassers über eine neu zu errichtende Druckleitung und deren Anschluss an die im Wilmendyk vorhandene Druckleitung.

Bezogen auf das in **Anlage 1.18** dargestellte Szenario mit einer Absenklinie von 31,50 mNN läßt sich eine erforderliche Fördermenge von rund 1.900 m^3 pro Tag berechnen. Durch die gestreckte Lage der beiden Brunnen ist der Absenktrichter in NW-SE Richtung etwas breiter und etwa 1/3 der Seniorenresidenz wird von der 31,50 mNHN-Linie erfaßt.

11.3.3 Variante 3

Die Modellberechnung der Variante 3 entspricht der aktuellen Brunnenkonfiguration der LEG-Anlage mit den beiden Brunnen 2_{neu} und 3, so dass keine weiteren Tief- oder Brunnenbauarbeiten erforderlich werden.

Bezogen auf das in **Anlage 1.19** dargestellte Szenario mit einer Absenklinie von 31,40 mNN läßt sich eine erforderliche Fördermenge von rund 2.600 m^3 pro Tag berechnen. Die höhere Fördermenge ist mit einer deutlich größeren Reichweite der Absenkung verbunden. Durch die große Fördermenge liegt die Seniorenresidenz vollständig innerhalb der 31,50 mNHN-Linie.

11.3.4 Variante 4

In der Modellberechnung für Variante 4 (**Anlage 1.20**) wird jeweils ein zentraler Brunnen im Bereich der Grünanlage Kliedbruch wie im Bereich der Grünanlage zwischen Bönnersdyk und Egerdyk mit Steuerbrunnen eingesetzt. Von beiden Brunnen erfolgt die Ableitung des gehobenen Grundwassers über jeweils neu zu errichtende Druckleitungen und deren Anschluss an die im Wilmendyk bzw. Hökendyk vorhandene Druckleitung.

Mit dieser Variante würde insbesondere für den östlich der Grünanlage Kliedbruch gelegenen Raum nachhaltiger und direkter eine Absenkung der Grundwasserstände erreicht. Zum Erreichen des Absenkzieles von 31,50 mNHN (**Anlage 1.20)** wird eine erforderliche Fördermenge von rund 1.200 m^3 pro Tag im Bereich Grünzug Bönnersdyk/Egersdyk sowie eine zusätzliche Förderung an dem 2. Brunnen mit einer Fördermenge von 1.200 m^3/Tag berechnet. Die Seniorenresidenz am Wilmendyk wird von der 31,50 mNHN-Linie jedoch nicht erfaßt.

11.3.5 Variante 5

Die Modellberechnung der Variante 5 (**Anlage 1.21**) entspricht einer Kombination aus den Varianten 1 und 3. Aktiv sind der Brunnen 3 der LEG-Anlage wie ein neu einzurichtender Brunnen im Bereich der Grünanlage zwischen Bönnersdyk und Egerdyk. Letzterer ist, wie oben beschrieben, an die Druckleitung anzuschließen und mit einer elektronischen Steuerung vorzusehen.

Die Entnahmeraten wurden mit 1000 m^3/d (südwestlicher Brunnen) und 1500 m^3/d (nordöstlicher Brunnen) berechnet. Die Seniorenresidenz am Wilmendyk wird von der 31,40 mNHN-Linie gerade erfasst.

Diese Brunnenkonstellation weist die höchste Variabilität in Bezug auf die Absenkziele und die sich daraus ergebenden Fördermengen auf.

11.3.6 Zusammenfassende Variantenbewertung

In **Tabelle 19** sind die Vor- und Nachteile der o.g. Varianten zusammengestellt. Bei der Bewertung werden die in den folgenden Kapiteln aufgezeigten Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten schon berücksichtigt.

Mit Ausnahme der Variante 3 ist bei allen anderen Varianten ein, teils erheblicher, Planungs- und Ausführungsaufwand bis zur Inbetriebnahme einzukalkulieren. Insofern stellt Variante 3 die einzige sofort verfügbare Variante dar und ist, sofern eine andere Variante ausgewählt wird, immer auch als eine Art Überbrückungsvariante bis zur Inbetriebnahme einer anderen Variante anzusehen. Ein, ggf. auch nur temporärer, Betrieb bzw. Betriebsbereitschaft der aktuellen Brunnenkonstellation der LEG-Anlage ist grundsätzlich immer erforderlich.

Im Ergebnis sind vor diesem Hintergrund die Varianten 3 und 5 als Vorzugsvarianten einzustufen, da diese das ausgewogenste Verhältnis zwischen unmittelbarer Betriebsbereitschafft und Investitionskosten aufweisen.

Tabelle 19: Vor - und Nachteile der aufgezeigten Varianten 1 bis 5

Variante	Absenkhöhe TB 15	Förderrate m^3/d	Vorteil	Nachteil
Variante 1	31,42 mNHN	1.800	--	hohe Investitionskosten nicht direkt betriebsbereit Seniorenresidenz Wilmendyk nicht erfaßt (31,50 mNHN)
Variante 2	31,41 mNHN	1.900	--	sehr hohe Investitionskosten nicht direkt betriebsbereit Seniorenresidenz Wilmendyk knapp erfaßt (31,50 mNHN)
Variante 3	31,37 mNHN	2.600	keine Investitionskosten direkt betriebsbereit Seniorenresidenz Wilmendyk erfaßt (31,40 mNHN)	höhere Absenkraten und damit tendenziell höhere Betriebs- und Wartungskosten
Variante 4	31,36 mNHN	2.400	flexibles Absenkkonzept gute räumliche Abdeckung für den Bereich östlich Grünzug Kliedbruch	sehr hohe Investitionskosten nicht direkt betriebsbereit Seniorenresidenz Wilmendyk nicht erfasst (31,50 mNHN)
Variante 5	31,37mNHN	2.500	flexibles Absenkkonzept, beste räumliche Abdeckung weiter Optimierung möglich	hohe Investitionskosten nicht direkt betriebsbereit Seniorenresidenz Wilmendyk knapp erfasst (31,40 mNHN)

11.4 Beschreibung der Vorzugsvarianten

Die Entnahme von Grundwasser unterliegt, bei sonst unbeeinflussten Verhältnissen, bestimmten hydraulischen Gesetzmäßigkeiten und Abhängigkeiten, die sich durch empirische und mathematische Formeln wie auch graphisch bestimmen lassen. Hierbei ist die Kenntnis der hydraulischen Parameter von Bedeutung.

Die Begrenzung des Einzugsgebietes im Abstrom des Entnahmebrunnens wird als Untere Kulmination (Xo) bezeichnet. Im Zustrom wird das Einzugsgebiet des Entnahmebrunnens durch die Entnahmebreite (B) charakterisiert.

Im Grundwasserleiter bedingt die Entnahme von Grundwasser die Ausbildung eines Entnahmetrichters und beeinflusst damit den natürlichen bzw. bestehenden Verlauf der Grundwasseroberfläche. Unter anderem können aus einem Grundwassergleichenplan in etwa das

Einzugsgebiet sowie der Entnahmetrichter graphisch ermittelt werden. Eine graphische Angabe des Einzugsgebietes ist hiermit nur auf die während der Stichtagsmessung herrschenden hydraulischen Verhältnisse und Fördermengen zu beziehen. Bei variablen Förderraten ist eine Angabe des Einzugsgebietes aufgrund der trägen Reaktion der Grundwasseroberfläche nur als orientierend zu betrachten.

Für die beiden Vorzugsvariante 3 und 5 werden im Folgenden die Einzugsgebiete auf Basis der Modellberechnungen unter den folgenden Rahmenbedingungen beschrieben:

- im Bereich des Gebäudes Wilmendyk 66 (Seniorenresidenz) wie Bönnersdyk 41/71 soll sich ein Grundwasserstand von rund 31,40 bis 31,50 mNHN einstellen.
- Bezogen auf die abstromig gelegene Grundwassermessstelle TB 15 entspräche dies einem Wasserstand von rund 31,20 bis 31,35 mNHN.

11.4.1 Vorzugsvariante 3

Wie in **Kapitel 11.3.3** ausgeführt entspricht die Variante 3 der aktuellen Brunnenkonfiguration der LEG-Anlage mit den beiden Brunnen 2_{neu} und 3, so dass keine weiteren Tief- oder Brunnenbauarbeiten erforderlich werden. Bezogen auf das in **Anlage 1.22** dargestellte Szenario mit einer Absenklinie von 31,40 mNHN lässt sich eine erforderliche Fördermenge von rund 2.600 m^3 pro Tag bzw. 110 m^3/h (≅0,031 m^3/s) abschätzen. Durch die große Fördermenge liegt die Seniorenresidenz vollständig innerhalb der 31,40 mNHN-Linie.

Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen des Einzugsgebiets sind in der **Tabelle 20** sowie **Anlage 1.22** zu entnehmen. Das Einzugsgebiet dehnt sich ausgehend von der Maßnahme nach Südwesten aus und reicht hier bis zur St. Töniser Straße /Gutenbergstraße.

Grafisch lässt sich für den Stichtag gemäß **Anlage 1.22** ableiten:

Untere Kulmination (Xo): ca. 700 m,

Entnahmebreite (B): ca. 1.300 m.

Der unbeeinflusste Grundwasserstand beträgt an dem o. g. Stichtag ca. 31,2 m NN.

Die Fördermengen werden in Abhängigkeit von der Entwicklung der Grundwasserstände schwanken. Unter Anlagenbetrieb sind monatliche Fördermengen zwischen ca. 50.000 und 90.000 m^3/Monat zu erwarten (ca. 70 bis 125 m^3/h).

Das hydraulische Gefälle ist durch die Absenkungsmaßnahme stark beeinflusst. Aus der Berechnung lassen sich für das Untersuchungsgebiet im Bereich der Mittelterrasse (=Zustrom) Gradienten von 1x 10^{-3} und im Bereich der Niederterrasse von 5 x 10^{-4} m/s bis 6 · 10^{-4} m/s ableiten.

Zur Kennzeichnung der Beeinflussung des Oberstromes durch die Grundwasserförderung wurde aus dem berechneten Grundwassergleichenplan **(Anlage 1.22)** grafisch das **Senkungsfeld** ermittelt. In dem Zustrom wird das Senkungsfeld in etwa durch die 32 m NN Grundwassergleiche begrenzt. Die obere Abgrenzung liegt damit ca. 400 m südwestlich der Grundwasserentnahme. Die Ausbreitung der Absenkung im Abstrom der Grundwasserentnahme reicht bis etwa zu der 31,25 m NN Grundwassergleiche bzw. bis ca. 850 m nordöstlich der Grundwasserabsenkung.

Die **Absenkungsreichweite** senkrecht zur Grundwasserfließrichtung wird nach der Formel von SICHARDT berechnet:

$$R = 5.395 \times s \times \sqrt{Kf}$$

mit:

- Durchlässigkeitsbeiwert (k_f): 9·10^{-4} m/s bis 1·10^{-3} m/s
- Absenkung im Brunnen (s): 2 m bis 3 m.

Die üblicherweise zur Ermittlung der Absenkungsreichweite nach SICHARDT empirisch ermittelte Konstante 3.000 wird aufgrund lokaler Gegebenheiten und Erfahrungswerten der SWK aqua[11] im Stadtgebiet Krefeld mit 5.395 ansetzt. Unter der Annahme: k_f = 9·10^{-4} m/s und einer Absenkung im Brunnen von s = 2 m beträgt die korrigierte Reichweite nach SICHARDT:

R = 324 m.

Unter der Annahme: k_f = 1·10^{-3} m/s und einer Absenkung im Brunnen von s = 3 m beträgt die korrigierte Reichweite nach SICHARDT:

R = 511 m.

Größenmäßig weichen die berechneten und die graphisch ermittelten Werte für die Untere Kulmination und die Entnahmebreite von einander ab. Im Untersuchungsgebiet wirken folgende Faktoren auf die empirisch ermittelten Werte ein, die letztlich zu Abweichungen führen können:

- Verbreitung des Interglazials,
- hydraulische Durchlässigkeit des Interglazials,
- unterschiedliche grundwassererfüllte Mächtigkeiten,

[11] Erfahrungswerte aus wasserrechtlichen Bewilligungsanträgen

- Durchlässigkeitsunterschiede zwischen der Mittel- und Niederterrasse im Zustrom,
- unterschiedliches hydraulisches Gefälle auf der Mittel- und Niederterrasse,
- einer Anomalie bzw. lokalen Heterogenität der Durchlässigkeiten im unmittelbaren Umfeld der Grundwasserentnahme.

11.4.2 Vorzugsvariante 5

Wie in **Kapitel 11.3.5** ausgeführt entspricht die Variante 5 einer Kombination aus den Varianten 1 und 3 dar. Aktiv sind der Brunnen 3 der LEG-Anlage wie ein neu einzurichtender Brunnen im Bereich der Grünanlage zwischen Bönnersdyk und Egerdyk.

Bei einer im Bereich Seniorenzentrum weniger tief ausgeprägten Absenkung verläuft die 31,40 mNHN-Linie bei einer Förderung des Brunnen 3 der LEG von 1.000 m^3/ Tag und dem neuen Brunnen im NE mir 1.500 m^3/Tag nahezu identisch zu Variante 3. Bezogen auf das in **Anlage 1.23** dargestellte Szenario mit einer Absenklinie von 31,40 mNHN lässt sich eine erforderliche Fördermenge von rund 2.500 m^3 pro Tag bzw. 104 m^3/h (≅0,029 m^3/s) abschätzen. Durch eine Verschiebung der Entnahmemengen weist die Anlagenkonfiguration die höchste Flexibilität in Bezug auf die räumliche Absenkung auf.

Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen des Einzugsgebiets sind in der **Tabelle 20** sowie **Anlage 1.23** zu entnehmen. Das Einzugsgebiet dehnt sich ausgehend von der Maßnahme nach Südwesten aus und reicht hier bis zur St. Töniser Straße /Gutenbergstraße.

Grafisch lässt sich für den Stichtag gemäß **Anlage 1.23** ableiten:

Untere Kulmination (Xo): ca. 680 m,

Entnahmebreite (B): ca. 1.350 m.

Der unbeeinflusste Grundwasserstand beträgt an dem o. g. Stichtag ca. 31,25 m NN.

Die Fördermengen werden in Abhängigkeit von der Entwicklung der Grundwasserstände schwanken. Unter Anlagenbetrieb sind monatliche Fördermengen zwischen ca. 45.000 und 85.000 m^3/Monat zu erwarten (ca. 60 bis 115 m^3/h).

Die ableitbaren hydraulischen Verhältnisse können ansonsten mehr oder weniger analog der Variante 3 angenommen werden bzw. unterscheiden sich nur marginal von dieser.

Tabelle 20: Berechnung der Unteren Kulmination und der Entnahmebreite für die Vorzugsvariante 3 und 5

	gemäß Stichtagsmessung vom 09.10.2014 **Variante 3**	**gemäß Stichtagsmessung vom 09.10.2014 (grafisch ermittelt)** **Variante 5**
Fördermenge	110 m³/h	105 m³/h
Untere Kulmination	750 m	680 m
Entnahmebreite	1.350 m	1.350 m
Begrenzung Senkungsfeld Zustrom	32 mNHN Grundwassergleiche Obergrenze ca. 425 m SW`lich LEG-Anlage	32 mNHN Grundwassergleiche Obergrenze ca. 475m SW`lich LEG-Anlage
Begrenzung Senkungsfeld Abstrom	31,25 mNHN Grundwassergleiche Obergrenze ca. 1.050 m NE`lich LEG-Anlage	31,25 mNHN Grundwassergleiche Obergrenze ca. 1.000 m NE`lich LEG-Anlage
Absenkreichweite Sichardt	324 bis 511 m	324 bis 512 m

12 Zu erwartende Anlagenbeschreibung

12.1 Beschreibung der vorhandenen nutzbaren Infrastruktur

Die vorhandene Infrastruktur entspricht der Anlage der LEG und ist in den **Kapiteln 4 und 5** beschrieben. Variante 3 ist damit gleichzusetzen.

Sofern Vorzugsvariante 5 zur Ausführung kommt ist diese zu erweitern um:

- Förderbrunnen Br. 4,
- Steuerbrunnen Br. 4,
- Druckleitung von Förderbrunnen Br. 4 bis zur vorhandenen Druckleitung in der Straße Wilmendyk,
- Elektronische Steuerungstechnik.

In allen Ausführungen muss eine elektronische Steuerung und Überwachung der Anlagentechnik der Förderbrunnen wie der Abreinigungsanlage erfolgen. Wir gehen davon aus, dass dies wie bisher ausgeführt wird durch:

Anlagentechnik der Förderbrunnen: NGN GmbH

Abreinigungsanlage: Hölscher Wasserbau GmbH

12.2 Transport und Ableitung des gehobenen Grundwassers

Der Transport erfolgt weiterhin über die Druckleitung. In Abhängigkeit von der zur Ausführung kommenden Variante ist ggf. ein Teilstück der Druckleitung zu ergänzen (inkl. Molchschleuse) und an die vorhanden anzuschließen.

Die Ableitung des gehobenen Wassers erfolgt weiterhin bei Marcelli in die Niepkuhlen.

12.3 Abreinigung gehobenen Wasser vor Einleitung Niepkuhlen

Das in die Niepkuhlen eingeleitete Wasser muss aktuell in Bezug auf die Stoffe:

- LHKW,
- Eisen

abgereinigt werden.

In **Bezug auf das Eisen** ist auch in Zukunft **immer** eine Enteisenung des Wassers vor Einleitung in die Niepkuhlen zu einzukalkulieren.

Die Gehalte an **LHKW** sind insgesamt rückläufig, so dass tendenziell davon ausgegangen werden kann, dass, in einem aktuell nicht abschätzbaren Zeitraum, auf eine Abreinigung „im Laufe der Zeit“[12] verzichtet werden kann.

Der Einleitwert für LHKW in die Niepkuhlen $\sum$ LHKW liegt bei 10 µg/l. Die Gehalte im Rohwasser der Anlage (**Abbildung 3**) sind seit 2012/2013 mit 15 bis 30 µg/l auf heute 10 bis 15 µg/l zurückgegangen, liegen aber immer noch oberhalb der Einleitwerte.

Unabhängig sind zu berücksichtigen:

- selbst bei relativ geringen Fördermengen von rund 65 m^3/h (September 2019) beträgt die angelieferte Fracht an LHKW noch 0,72 kg im Monat, die durch die Abreinigung aus dem Umwelt entfernt bzw nicht in die Niepkuhlen eingeleitet wurden. Seit 2011 wurden im Mittel pro Monat 1,7 kg LHKW bzw. in der Summe des Zeitraums bis Okt. 2019 fast 170 kg LHKW aus dem Grundwasser entfernt.
- mit der Strippanlage erfolgt eine Vorbelüftung, die dazu führt, dass Eisen im Strippturm ausfällt und nicht mehr dem Sandfilter (=Enteisenungsanlage) zugeführt wird. Ein Verzicht auf die Abreinigung der LHKW wird eine Anpassung des Sandfilters nach sich ziehen, die mit Investitionen verbunden sein wird. Damit wird allerdings eine Reduzieurng der Betriebs- und Wartungskosten verbunden sein, da diese für die Strippanlage entfällt.

12.4 Fachliche Betreuung der Anlagentechnik

Für die Anlage wird eine fachliche Betreuung erforderlich. Dabei wäre – analog der bestehenden Anlage - zu unterscheiden zwischen:

- Funktionskontrolle, Steuerung und Wartung der Brunnenanlage über die NGN GmbH,
- Funktionskontrolle, Steuerung und Wartung der Abreinigungsanlage Hökendyk über die Firma Hölscher Wasserbau GmbH,
- Ingenieurleistungen, Abstimmungen, Einleitungskontrolle Niepkuhlen über die Dr. Strotmann Umweltberatung GmbH.

Dabei ist für den zukünftigen Anlagenbetrieb von Bedeutung, dass aktuell durch die NGN eine Online-Überwachung der Brunnenanlage durchgeführt wird, mit der die Brunnen automatisiert

[12] Die Quelle der LHKW-Belastung ist aktuell nach unserem Kenntnisstand nicht bekannt

auch gesteuert werden können. Die Steuerung der Brunnen erfolgt über sogenannte Steuerpegel bzw. durch manuelle Eingriffe auf Anregung der Dr. Strotmann Umweltberatung GmbH. Das System ist im Wasserwerksbetrieb der NGN integriert.

Die Überwachung der Abreinigungsanlage Hökendyk erfolgt aktuell teilautomatisiert über die Firma Hölscher Wasserbau GmbH.

Beide Systeme sind „historisch“ nur ungenügend auf einander abgestimmt und werden sozusagen von zwei „Betreibern“ kontrolliert. Sofern die Anlage in der aktuellen Form weiter betrieben werden soll, empfehlen sich hier Anpassungen. Damit verbunden sind Investitionskosten in die „Elektrotechnik“. Die Höhe dieser Kosten wird abhängig sein, in welcher Konstellation die Überwachung automatisiert werden kann.

13 Abschätzung der Investitionskosten

In den folgenden Kapiteln wird ein Überblick über die möglichen Investitionskosten für die Varianten 3 und 5 gegeben. Zu unterscheiden ist hier zwischen kurzfristig erforderlichen und mittel- bis langfristigen Investitionskosten.

In den **Tabellen 23** (Variante 3) und **24** (Variante 5) sind die kurz- bis mittelfristig notwendigen Kosten aufgeführt, die zum Anlagenbetrieb direkt erforderlich werden.

Darüber hinaus existieren aber auch langfristig weitere Investitionskosten, die über die normalen Betriebs- und Wartungskosten hinausgehen. Diese können im Laufe der weiteren Betriebszeit anfallen und sind – aus heutiger Sicht - in **Tabelle 22** aufgeführt.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass zukünftig mit steigenden Strompreisen zu kalkulieren ist.

In Variante 3 sind die Förderbrunnen älter, so dass hier gegenüber Variante 5 ein höherer mittel- bis langfristiger Investitionsbedarf zu erwarten ist.

Tabelle 21: Kostenabschätzung zu möglichen mittel- bis langfristigen Investitionskosten

Art der Investition	Begründung	ca. Kosten in € (netto) (Stand 2019)
Umbau Brunnenstube 3	regelkonforme Stehhöhe von 2 m und lotrechte Montageöffnungen zum Pumpenwechsel	15.000 bis 25.000,-
Umbau Brunnenstube 3	„Bereinigung“ der Rohrleistungsführungen im zentralen Verteilerschacht	10.000 bis 15.000,-
Intensivreinigung der Brunnen	Brunnenalterung (insbesondere Brunnen 3 ist fast 20 Jahre alt)	10.000 bis 15.000,-
Neubau Brunnen	Ab 40 bis 50 Jahre ist ein Neubau der Brunnen wahrscheinlich	75.000,- bis 125.000,-
Summe netto		110.000,- bis 180.000,-
19 % MWSt.		20.900,- bis 34.200,-
Summe Brutto		**130.900,- bis 214.200,-**

13.1 Abschätzung der kurz- bis mittelfristigen Investitionskosten Variante 3

Einen Überblick über die Größenordnung der zu erwartenden kurzfristigen Investitionskosten gibt **Tabelle 23**. Dabei ist zu unterscheiden zwischen:

- Einstellung der LHKW-Abreinigungsanlage (Position 2a).
- Weiterbetrieb der LHKW-Abreinigungsanlage inkl. zweier Stripptürme (Position 2b),

<u>Abreinigungsanlage</u>

Über die Stripptürme erfolgt mit der Abreinigung von LHKW eine Belüftung des Wassers. Dabei kommt es zum Ausfall von Eisen und schon zu einer „Enteisenung“ bevor das Wasser der eigentlichen Enteisenungsanlage zugeführt wird. Wird zukünftig die LHKW-Abreinigungsanlage eingestellt ist zwingend eine Belüftung des zur Enteisenungsanlage geführten Wassers erforderlich.

Die Kosten für den in **Tabelle 22** aufgeführten Posten „Elektrotechnik“ sind abschließend nicht genau zu kalkulieren, da dieses i.W. davon abhängig sind, wie und in welcher Konstellation der beteiligten Firmen der teilautomatisierte Betrieb weiter betrieben werden soll.

Grundwasserüberwachung

Aktuell ist eine mehr oder weniger punktuelle Überwachung der Grundwasserstände ausreichend. Zukünftig wird sich dieses aber ändern. Insofern muss das Überwachungssystem der Grundwasserstände in der Fläche ausgebaut werden. Hierzu sind mindestens vier Messstellen einzurichten, in denen sogenannte Datenlogger mit automatisierter Datenfernübertragung eingebaut werden sollten. Damit können die Grundwasserentnahmemengen optimiert bzw. die Kosten reduziert werden.

Wasserrechtliche Erlaubnis

Die vorhandene wasserrechtliche Erlaubnis muss angepasst werden. Ggf. wird eine UVP erforderlich.

Tabelle 22: Abschätzung der Investitionskosten Variante 3 (Stand: Oktober 2019)

Position	Leistung		Kostenabschätzung [€ netto] von ……bis	
1.	**Brunnenanlage Bönnersdyk**			
1.1	Automatisierung / Elektrotechnik**	ca.	7.500,-	12.500,-
	Summe 1		**7.500,-**	**12.500,-**
2a	**Abreinigungsanlage Hökendyk ohne LHKW-Abreinigung**			
2.1	Automatisierung / Elektrotechnik**	ca.	15.000,-	20.000,-
2.2	Rückbau Strippanlage (2 Kolonnen)	ca.	40.000,-	45.000,-
2.3	Neuverlegung Zuführung Enteisenungsanlage	ca.	10.000,-	15.000,-
2.4	Neue Belüftung Enteisenungsanlage	ca.	90.000,-	110.000,-
	Summe 2a		**155.000,-**	**190.000,-**
2b	***Abreinigungsanlage Hökendyk mit LHKW-Abreinigung****			
2.5	*Automatisierung / Elektrotechnik***	*ca.*	*15.000,-*	*20.000,-*
2.6	*Abluft Gebläse Strippanlage*	*ca.*	*20.000,-*	*25.000,-*
	Summe 2b		***35.000,-***	***45.000,-***
3	**Ausbau Grundwasserüberwachung**			
3.1	Einrichten von vier Grundwassermessstellen (3 Zoll) inkl. Planung und Betreuung	ca.	10.000,-	12.500.-
3.2	vier Datenlogger inkl. deren Inbetriebnahme	ca.	8.000,-	9.000,-
3.3	Automatisierung Datenlogger und Fernübertragung	ca.	9.000,-	11.000,-
	Summe 3	ca.	**27.000,-**	**32.500,-**
4	**Ingenieurleistungen (Planung, Genehmigung, Ausschreibung, Überwachung)**			
4.1	Planung, Genehmigung, Ausschreibung, Überwachung mit 15 bis 20 % der Summe aus Titel 1 und 2a	ca.	24.375,-	40.500,-
	Summe 4	ca.	**24.375,-**	**40.500,-**

Posi-tion	Leistung		Kostenabschätzung [€ netto] von ……bis	
	Summe Investitionskosten Variante 3 (mit Pos. 2a) netto	ca.	213.875,00 €	275.500,00 €
	19 % MWST	ca.	40.636,25 €	52.345,00 €
	Summe Investitionskosten Variante 3 (mit Pos. 2a) (brutto)	ca.	**254.511,25 €**	**327.845,00 €**

*: eine *Reinigung Enteisenungsanlage inkl. Neubefüllung mit Kies und Entsorgung Eisen/Mangan-Schlamm* ist aktuell von der LEG beauftragt

**kann ggf. reduziert werden, wenn Überwachung der Brunnen weiter über die NGN wie Hölscher Wasserbau erfolgt

Die aktuellen Investitionskosten lassen sich für die Variante 3 mit rund 255.000 bis 330.000 € brutto abschätzen, sofern auf die Strippanlage (Position 2a) verzichtet wird. Bei einem Weiterbetrieb der Anlage (Position 2b) reduzieren sich die Investitionskosten auf geschätzt 90.000 bis 125.000,- € brutto. Darin sind jeweils Kosten für die Elektrotechnik / Automatisierung von rund 27.500,- bis 39.000,- € brutto enthalten.

13.2 Abschätzung der kurz- bis mittelfristigen Investitionskosten Variante 5

Bei der Variante 5 wird von den LEG-Brunnen lediglich der Brunnen 3 weiter betrieben. Zusätzlich zu den für Variante 3 in **Kapitel 13.1** aufgeführten Investitionskosten fallen an:

Einrichten Entnahmebrunnen inkl. Automatisierung

Im Bereich der Grünfläche zwischen Bönnersdyk und Egerdyk wird ein neuer Entnahmebrunnen mit Steuerungsbrunnen und elektrische Automatisierung / Datenfernübertragung eingerichtet. Brunnen 2 bleibt als Reservebrunnen vorhanden.

Anschluss neuer Brunnen an die vorhandene Druckleitung

Ausgehend von dem neuen Förderbrunnen ist für die Ableitung des gehobenen Grundwassers ein rund 350 m lange Druckleitung bis in die Straße Wilmendyk zu verlegen. Diese ist mit einer Molchschleuse zu versehen, damit die Druckleitung gereinigt werden kann.

Wasserrechtliche Erlaubnis

Es ist ein komplett neuer Antrag auf Wasserrechtliche Erlaubnis für den Betrieb der Anlage zu erarbeiten. Eine UVP wird erforderlich.

Einen Überblick über die Größenordnung der zu erwartenden kurzfristigen Investitionskosten für Variante 5 gibt **Tabelle 24**.

Tabelle 23: Abschätzung der Investitionskosten Variante 5 (Stand Okt. 2019)

Position	Leistung		Kostenabschätzung [€ netto] von ……bis	
1.	**Brunnenanlage Bönnersdyk**			
1.1	Automatisierung / Elektrotechnik**	ca.	7.500,-	12.500,-
	Summe 1	ca.	**7.500,-**	**12.500,-**
2a	**Abreinigungsanlage Hökendyk ohne LHKW-Abreinigung**			
2.1	Automatisierung / Elektrotechnik**	ca.	15.000,-	20.000,-
2.2	Rückbau Strippanlage (2 Kolonnen)	ca.	40.000,-	45.000,-
2.3	Neuverlegung Zuführung Enteisenungsanlage	ca.	10.000,-	15.000,-
2.4	Neue Belüftung Enteisenungsanlage	ca.	90.000,-	110.000,-
	Summe 2a	ca.	**155.000,-**	**190.000,-**
2b	***Abreinigungsanlage Hökendyk mit LHKW-Abreinigung***			
2.6	*Automatisierung / Elektrotechnik***	*ca.*	*15.000,-*	*20.000,-*
2.7	*Abluft Gebläse Strippanlage*	*ca.*	*20.000,-*	*25.000,-*
	Summe 2b	*ca.*	***35.000,-***	***45.000,-***
3	**Neubau Brunnen 4**			
3.1	Einrichten Brunnen 4 inkl. Steuerbrunnen, Brunnenstube	ca.	90.000,-	110.000,-
3.2	Automatisierung / Elektrotechnik, Einbinden in Online-Überwachungssystem, Pumpe	ca.	20.000,-	25.000,-
	Summe 3	ca.	**110.000,-**	**135.000,-**
4	**Anschluss Brunnen 4 an Druckleitung**			
4.1	Etwa 350 m Leitungstrasse und Anschluss an vorhandene Druckleitung in Hökendyk inkl. Molchschleuse	ca.	40.000,-	50.000,-
	Summe 4	ca.	**40.000,-**	**50.000,-**
5	**Ausbau Grundwasserüberwachung**			
5.1	Einrichten von vier Grundwassermessstellen (3 Zoll) inkl. Planung und Betreuung	ca.	10.000,-	12.500,-
5.2	Drei Datenlogger inkl. Inbetriebnahme	ca.	8.000,-	9.000,-
5.3	Automatisierung Datenlogge rund Fernübertragung	ca.	9.000,-	11.000,-
	Summe 5	ca.	**27.000,-**	**32.500,-**
6	**Ingenieurleistungen (Planung, Genehmigung, Ausschreibung, Überwachung)**			
6.1	Planung, Genehmigung, Ausschreibung, Überwachung mit 15 bis 20 % der Summe aus Titel 1 und 2a	ca.	39.062,50	48.437,50
6.2	Wasserrechtliche Erlaubnis inkl. UVP	ca.	12.500,-	17.500,-
	Summe 6	ca.	**51.562,50**	**65.937,50**

Position	Leistung		Kostenabschätzung [€ netto] von ……bis	
	Summe Investitionskosten Variante 5 (mit Pos. 2a) (netto)	ca.	391.062,50 €	485.937,50 €
	19 % MWST	ca.	74.301,88 €	92.328,13 €
	Summe Investitionskosten Variante 5 (mit Pos. 2a) (brutto)	ca.	**465.364,38 €**	**578.265,63 €**

*: Ggf. noch Leistung LEG

**kann ggf. reduziert werden, wenn Überwachung der Brunnen weiter über die NGN wie Hölscher Wasserbau erfolgt

Weiterhin werden gegenüber Variante 3 zusätzliche Planungsleistungen anfallen. Dieses drückt sich neben der Planung für den neuen Brunnen inkl. der erforderlichen Tiefbauarbeiten für die Druckleitung auch in einem neuen Antrag auf wasserrechtliche Erlaubnis inkl. einer Umweltverträglichkeitsprüfung aus.

Die aktuellen Investitionskosten lassen sich für die Variante 5 mit rund 465.000 bis 580.000 € brutto abschätzen sofern auf die Strippanlage (mit Position 2a) verzichtet wird. Bei einem Weiterbetrieb der Anlage (mit Position 2b) reduzieren sich die Investitionskosten auf geschätzt 310.000 bis 400.000,- brutto. Darin sind Kosten für die Elektrotechnik / Automatisierung von rund 27.500,- bis 39.000,- brutto enthalten.

14 Abschätzung der Betriebs- und Wartungskosten

14.1 Abschätzung der Betriebs- und Wartungskosten aktueller Anlagenbetrieb der LEG

Die Abschätzung der Betriebs- und Wartungskosten setzt sich zusammen aus den Bereichen:

- Stromkosten,
- Einleitungsgebühren Niepkuhlen und Schmutzwasserkanalisation,
- Abreinigungsanlage,
- Brunnenanlage.

Die Strom- und Einleitungskosten wurden aus den realen Verbrauchskosten der Jahre 2015 bis 2018 abgeleitet. **Diese Jahre repräsentieren Jahre mit sehr hohen Fördermengen.** Angesetzt wurde ein gemittelter Wert.

Die Kosten für die Abreinigungs- und Brunnenanlage wurden ebenfalls aus die dem Unterzeichner bekannten Aufwendungen des aktuellen Anlagenbetriebes abgeleitet. Da nicht alle Kosten jährlich anfallen wurde diese gemäß ihrer zu erwartenden Wiederkehrhäufigkeit auf das Jahr umgerechnet. Wenn z.B. eine Strippkolonne mit Kosten von 15.000,- € netto alle drei Jahre

gewartet werden muss, so wurden hierfür, bezogen auf ein Jahr, Kosten von 5.000,- € netto kalkuliert.

In den Kosten sind auch die Kosten für die Überwachung der Anlage sowie gutachterliche Kosten enthalten. Eine Übersicht über die berücksichtigten Kosten gibt **Tabelle 25**.

Insgesamt lassen sich daraus, bei einem intensivem Anlagenbetrieb, mittlere jährliche Kosten um 340.00 bis 360.000,- € brutto abschätzen (Abbildung 26). In diesen Kosten sind keine Kosten für die Anpachtung von Grundstücken und den damit verbundenen Nebenkosten enthalten.

Tabelle 24: Übersicht der berücksichtigten Wartungs- und Betriebskosten für die Brunnen- und Pumpanlage

lfd. Wartungskosten Abreinigungsanlage	Menge	Häufigkeit alle X Jahre
Wechsel Füllkörper Strippanlage pro Strippturm inkl. aller Nebenleistungen (zwei Stripptürme, alle 2 Jahre ein Turm)	2 Stripptürme	2
Wechsel Füllkörper Eisenfilter	1	4
Entsorgung (mengenabhängig)	1	4
Wartungskosten Anlage (Stripp- und Eisenfilter)	monatlich	0,083
Grünschnitt & Flächenreinigung	monatlich	0,083
Allg. Materialkosten (Pumpen etc.)	jährlich	1
Ing-Leistung Betreuer Abreinigung (4 Std./Monat)	monatlich	0,083
Betreuung Anlage durch Fachgutachter inkl. monatlicher laborchemischer Untersuchungen der Einleitwerte	monatlich	0,083
Molchen Druckleitung inkl. Entsorgung	1	4
Ausserplanmäßiges (nicht kalkulierbar)	1	1
Entsorgung Eisen-/Manganschlamm inkl. Saugwagen	1	1
Einleitung Schmutzwasser	500 cbm	1
lfd. Wartungskosten Brunnenanlage	**Menge**	**Häufigkeit alle x Jahre**
Pumpenwechsel	3 Pumpen	2,000
Allg. Materialkosten (diverses)		1,000
Reinigung / Enteisen Zulauf Pumpen	2 Brunnenstuben	2,000
Reinigung / Enteisen Ablauf Brunnen 2 zu Brunnen 3	1 Stück	3,000
Monatliche Inspektion NGN	monatlich	0,083
Fernüberwachung Brunnen	monatlich	0,083
Rufbereitschaftspauschale Meister	monatlich	0,083
Rufbereitschaftspauschale Elektrotechnik	monatlich	0,083
Datenfernübertrag. Brunnen/Aufbereitung	monatlich	0,083
Betreuung Anlage durch Fachgutachter inkl. Notfallmanagement, Überwachung Grundwasserstände, allg. Beratung etc.	monatlich	0,083
Außerplanmäßiges (nicht kalkulierbar)		1
Ing-Leistung Betreuer Abreinigung	monatlich	0,083

Betreibt man die Anlage über einen noch zu gründenden Verein oder Verband, ergeben sich mit zunehmender Anzahl der Mitglieder entsprechen geringere Kosten (**Abbildung 27**). Im Extremfall (zeHGW) betragen die jährlichen Beiträge z. B. für 500 Mitglieder 502 € pro Jahr und für 1.500 Mitglieder nur noch 167 € pro Jahr. Für den „Normalbetrieb“, d.h. bei mittleren Grundwasserständen, entsprechend dann nur noch 280 bzw. 93 € pro Jahr.

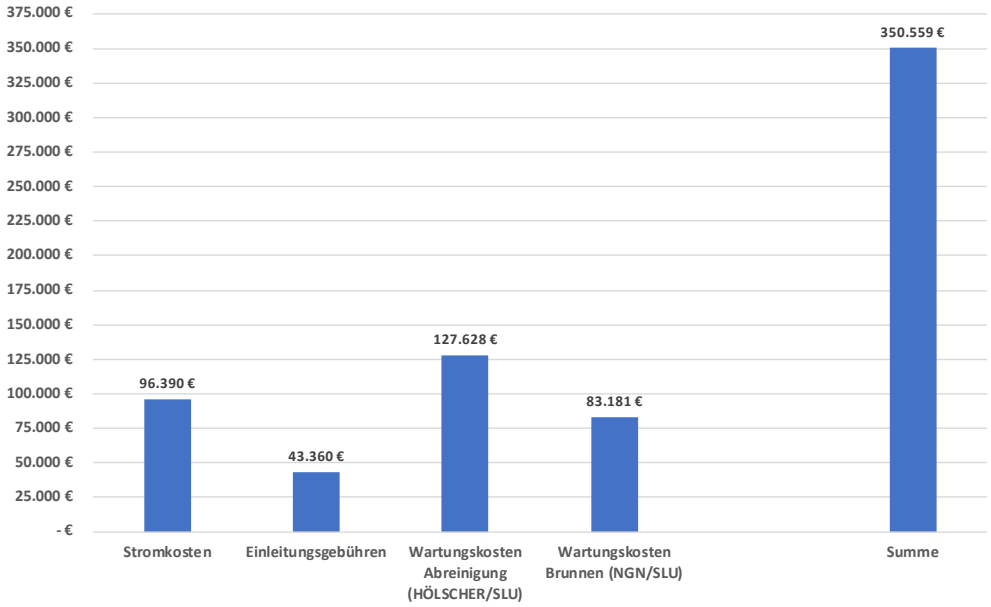

Abbildung 26: Abschätzung der gemittelten (2014 bis 2018) Betriebs- und Wartungskosten der Anlage LEG (brutto)

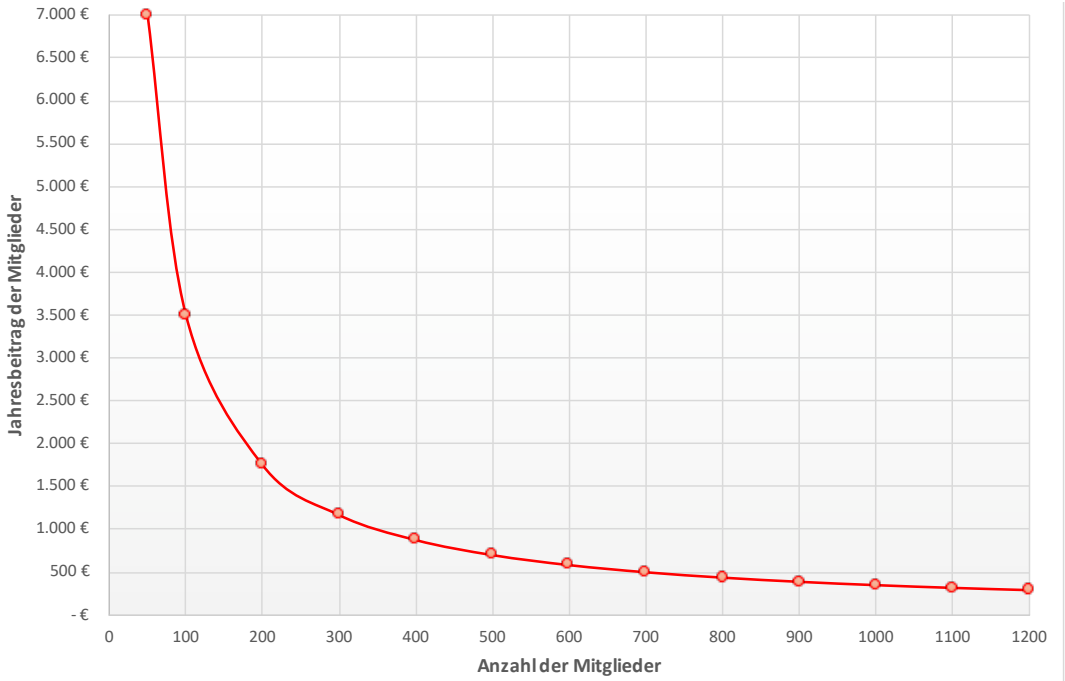

Abbildung 27: Jahresbeitrag pro Mitglied bei gemittelten Betriebs-/Wartungskosten von 375.000,- € brutto pro Jahr

14.2 Abschätzung der Betriebs- und Wartungskosten Variante 3

Die Abschätzung der Kosten orientiert sich an dem laufenden Betrieb. Eine Zusammenstellung zeigt **Tabelle 26**. Gegenüber dem laufenden Betrieb ist aufgrund geringerer Fördermengen, trotz zu erwartender steigender Strompreise, eine Einsparung bei den Strom- und Einleitungskosten zu erwarten. Die Kosten lassen sich bei den Einleitgebühren mit ca. 60 bis 80 % und den Stromkosten mit 70 bis 85 % der Kosten gemäß **Abbildung 25** abschätzen. Weiterhin erfolgt eine wenig intensive Nutzung der Brunnen sowie der Aufbereitungsanlage.

Für Variante 3, inkl. Strippanlage (entsprechend Pos. 2a Tabelle 22), lassen sich die jährlichen Betriebs-und Wartungskosten mit 215.000,- bis 275.000,- € brutto abschätzen. Die Kosten reduzieren sich um 25.000,- bis 30.000,- € sofern auf einen Betrieb der Stripptürme verzichtet werden kann. Daraus resultieren allerdings höhere Investitionskosten (s.o.).

Tabelle 25: Abschätzung der Betriebs-und Wartungskosten Variante 3 (Stand Nov. 2019)

Pos.	Art der Kosten		Kostenabschätzung [netto €] von……bis		jährlichkeit
1	**Stromkosten**				
	70 bis 85 % der Kosten gemäß Abbildung 25	ca.	67.200,00 €	81.600,00 €	1
2	**Einleitungsgebühren Niepkuhlen**				
	40 bis 60 % der Kosten gemäß Abbildung 25	ca.	27.000,00 €	36.000,00 €	1
3	**Betriebs- und Wartungskosten Aufbereitungsanlage Hökendyk**				
3.1	Wechsel Füllkörper Strippanlage pro Strippturm inkl. aller Nebenleistungen (zwei Stripptürme, alle 1,5 Jahre ein Turm)		9.900,00 €	11.550,- €	0,66
3.2	Wechsel Füllkörper Eisenfilter inkl. aller Nebenleistungen und Entsorgung (mengenabhängig)	ca.	5.500,00 €	6.500,00 €	0,20
3.3	Entsorgung (mengenabhängig) Eisen-/Manganschlamm inkl. Saugwagen	ca.	1.000,00 €	1.500,00 €	0,20
3.4	Wartungskosten Anlage (Stripp- und Eisenfilter) im Jahr inkl. aller Nebenleistungen	ca.	4.500,00 €	6.750,00 €	1
3.5	Grünschnitt & Flächenreinigung inkl. aller Nebenleistungen	ca.	4.000,00 €	6.000,00 €	1
3.6	Allg. Materialkosten (Pumpen etc.)	ca.	4.000,00 €	6.000,00 €	1
3.7	Ing-Leistung Betreuer Abreinigung (4 Std./Monat)	ca.	3.000,00 €	4.500,00 €	1
3.8	Betreuung Anlage durch Fachgutachter inkl. Monatlicher laborchemischer Untersuchungen der Einleitwerte, Datenlogger	ca.	7.500,00 €	9.000,00 €	1
3.9	Molchen Druckleitung inkl. Entsorgung (mengenabhängig)	ca.	2.000,00 €	3.000,00 €	0,2
3.10	Außerplanmäßiger Aufwand für Störungen (nicht kalkulierbar)	ca.	3.750,00 €	5.625,00 €	1
3.11	Einleitung Schmutzwasser aus Enteisenungsanlage	ca.	1.125,00 €	1.500,00 €	1
3	**Zusammenfassung Betriebs- und Wartungskosten Aufbereitungsanlage Hökendyk**		**46.275,00 €**	**61.925,00 €**	**1**

Pos.	Art der Kosten		Kostenabschätzung [netto €] von……bis		jähr-lichkeit
4	**Betriebs- und Wartungskosten Brunnenanlage Bönnersdyk**				
4.1	Pumpenwechsel inkl. aller Nebenleistungen	ca.	5.250,00 €	6.750,00 €	0,75
4.2	Allg. Materialkosten (diverses)	ca.	4.000,00 €	6.000,00 €	1
4.3	Reinigung / Enteisen Zulauf Pumpen inkl. aller Nebenleistungen	ca.	3.000,00 €	4.000,00 €	0,2
4.4	Monatliche Inspektion NGN, Fernüberwachung Brunnen, Rufbereitschaftspauschale Meister, Rufbereitschaftspauschale Elektrotechnik, Datenfernübertrag. Brunnen/Aufbereitung	ca.	20.000,00 €	25.000,00 €	1
4.5	Außerplanmäßiger Aufwand für Störungen (nicht kalkulierbar)	ca.	2.000,00 €	3.000,00 €	0,33
4.6	Ing-Leistung Betreuer Abreinigung (4 Std./Monat)	ca.	5.000,00 €	7.000,00 €	1
4	**Zusammenfassung Betriebs- und Wartungskosten Aufbereitungsanlage Hökendyk**		**39.250,00**	**51.750,00**	
	ZUSAMMENFASSUNG				
1.	**Stromkosten**		**67.200,00 €**	**81.600,00 €**	1
2.	**Einleitungsgebühren Niepkuhlen**		**27.000,00 €**	**36.000,00 €**	1
3.	**Betriebs- und Wartungskosten Aufbereitungsanlage Hökendyk**		**46.275,00 €**	**61.925,00 €**	1
4.	**Betriebs- und Wartungskosten Brunnenanlage Bönnersdyk**		**39.250,00 €**	**51.750,00 €**	1
	Summe Betriebs- und Wartungskosten netto		179.725,00 €	231.275,00 €	1
	19 % MWST		34.147,75 €	43.942,25 €	1
	Summe Betriebs- und Wartungskosten Brutto		**213.872,75 €**	**275.217,25 €**	**1**

14.3 Abschätzung der Betriebs- und Wartungskosten Variante 5

Die Abschätzung der Kosten orientiert sich an dem laufenden Betrieb. Eine Zusammenstellung zeigt **Tabelle 26**. Gegenüber dem laufenden Betrieb ist aufgrund geringerer Fördermengen, trotz zu erwartender steigender Strompreise, eine Einsparung bei den Strom- und Einleitungskosten zu erwarten. Die Kosten lassen sich mit bei den Einleitgebühren mit ca. 60 bis 80 % und den Stromkosten mit 70 bis 85 % der Kosten gemäß **Abbildung 25** abschätzen. Weiterhin erfolgt eine wenig intensive Nutzung der Brunnen sowie der Aufbereitungsanlage.

Für Variante 5 (entsprechend Pos. 2a Tabelle 23), lassen sich die jährlichen Betriebs-und Wartungskosten mit 195.000,- bis 250.000,- € brutto abschätzen. Sie liegen damit im gleichen Niveau wie die zu erwartenden Kosten der Variante 3. Aufgrund der zu erwartenden geringeren Fördermengen dürften die Kosten jedoch bei 10 bis 15 % niedriger liegen.

Die Kosten reduzieren sich um 25.000,- bis 30.000,- € sofern auf einen Betrieb der Stripptürme verzichtet werden kann. Daraus resultieren allerdings höhere Investitionskosten (s.o.).

Tabelle 26: Abschätzung der Betriebs-und Wartungskosten Variante 5 (Stand Nov. 2019)

Pos.	Art der Kosten		Kostenabschätzung [netto €] von……bis	jähr-lich-keit
1	**Stromkosten**			

Pos.	Art der Kosten		Kostenabschätzung [netto €] von……bis		jährlichkeit
	70 bis 85 % der Kosten gemäß Abbildung 23	ca.	56.000,00 €	68.000,00 €	1
2	**Einleitungsgebühren Niepkuhlen**				
	60 bis 80 % der Kosten gemäß Abbildung 23	ca.	27.000,00 €	36.000,00 €	1
3	**Betriebs- und Wartungskosten Aufbereitungsanlage Hökendyk**				
3.1	Wechsel Füllkörper Strippanlage pro Strippturm inkl. aller Nebenleistungen (zwei Stripptürme, alle 1,5 Jahre ein Turm)		9.900,00 €	11.550,00 €	0,66
3.2	Wechsel Füllkörper Eisenfilter inkl. aller Nebenleistungen und Entsorgung (mengenabhängig)	ca.	5.500,00 €	6.500,00 €	0,20
3.3	Entsorgung (mengenabhängig) Eisen-/Manganschlamm inkl. Saugwagen	ca.	1.000,00 €	1.500,00 €	0,20
3.4	Wartungskosten Anlage (Stripp- und Eisenfilter) im Jahr inkl. aller Nebenleistungen	ca.	4.500,00 €	6.750,00 €	1
3.5	Grünschnitt & Flächenreinigung inkl. aller Nebenleistungen	ca.	4.000,00 €	6.000,00 €	1
3.6	Allg. Materialkosten (Pumpen etc.)	ca.	4.000,00 €	6.000,00 €	1
3.7	Ing-Leistung Betreuer Abreinigung (4 Std./Monat)	ca.	3.000,00 €	4.500,00 €	1
3.8	Betreuung Anlage durch Fachgutachter inkl. Monatlicher laborchemischer Untersuchungen der Einleitwerte, Datenlogger	ca.	7.500,00 €	9.000,00 €	1
3.9	Molchen Druckleitung inkl. Entsorgung (mengenabhängig)	ca.	2.000,00 €	3.000,00 €	0,2
3.10	Außerplanmäßiger Aufwand für Störungen (nicht kalkulierbar)	ca.	3.000,00 €	4.500,00 €	1
3.11	Einleitung Schmutzwasser aus Enteisenungsanlage	ca.	1.125,00 €	1.500,00 €	1
3	**Zusammenfassung Betriebs- und Wartungskosten Aufbereitungsanlage Hökendyk**	ca.	**45.525,00 €**	**60.800,00€**	**1**
4	**Betriebs- und Wartungskosten Brunnenanlage Bönnersdyk**				
4.1	Pumpenwechsel inkl. aller Nebenleistungen	ca.	5.250,00 €	6.750,00 €	0,75
4.2	Allg. Materialkosten (diverses)	ca.	4.000,00 €	6.000,00 €	1
4.3	Reinigung / Enteisen Zulauf Pumpen inkl. aller Nebenleistungen	ca.	0 €	0 €	0,25
4.4	Monatliche Inspektion NGN, Fernüberwachung Brunnen, Rufbereitschaftspauschale Meister, Rufbereitschaftspauschale Elektrotechnik, Datenfernübertrag. Brunnen/Aufbereitung	ca.	20.000,00 €	22.000,00 €	1
4.5	Außerplanmäßiger Aufwand für Störungen (nicht kalkulierbar)	ca.	2.000,00 €	3.000,00 €	0,33
4.6	Ing-Leistung Betreuer Abreinigung (4 Std./Monat)	ca.	5.000,00 €	7.000,00 €	1
4	**Zusammenfassung Betriebs- und Wartungskosten Aufbereitungsanlage Hökendyk**	ca.	**36.250,00**	**47.750,00**	
	ZUSAMMENFASSUNG				
1.	**Stromkosten**	ca.	**56.000,00 €**	**68.000,00 €**	1
2.	**Einleitungsgebühren Niepkuhlen**	ca.	**27.000,00 €**	**36.000,00 €**	1
3.	**Betriebs- und Wartungskosten Aufbereitungsanlage Hökendyk**	ca.	**45.525,00 €**	**60.800,00 €**	1
4.	**Betriebs- und Wartungskosten Brunnenanlage Bönnersdyk**	ca.	**36.250,00 €**	**47.750,00 €**	1
	Summe Betriebs- und Wartungskosten netto	ca.	164.775,00 €	212.550,00 €	1
	19 % MWST	ca.	31.307,25 €	40.384,50 €	**1**
	Summe Betriebs- und Wartungskosten Brutto	ca.	**196.082,25 €**	**252.934,50 €**	**1**

15 Abschätzung der Zeitschiene

Der Abschätzung der Zeitschiene liegt zugrunde, dass die Anlagen der LEG an eine Dritte Person veräußert bzw. übertragen werden und dass erst daran anschließend unmittelbar mit den erforderlichen Arbeiten begonnen werden kann.

Die LEG beabsichtigt im ersten Quartal 2020 die Abschaltung der Förderpumpen. Die Abschaltung der Pumpen durch die LEG ist eine Voraussetzung für eine Abnahme der Sanierungsarbeiten an den Gebäuden durch die Eigentümer. Weiterhin muss die gesamte Anlage für den Zeitraum von einem Jahr nach der Abnahme betriebsbereit vorgehalten werden, um in einem möglichen Versagen der nachträglichen Abdichtung der Gebäude eingreifen zu können. Nach diesem Jahr erfolgt über einen aktuell nicht bestimmbaren Zeitraum eine vertraglich festgelegte Revision in den sanierten Häusern. **Erst nach dieser erfolgreichen Revision ist geplant, die Pumpen und übrigen Anlagen zu demontieren bzw. rückzubauen.**

15.1 Variante 3

Da bei der Variante 3 die vorhandene Anlagenstruktur der LEG übernommen wird, kann die Anlage unmittelbar in Betrieb genommen werden. Dies setzt voraus, dass die Anlage von der LEG in betriebsfähigem Zustand übernommen werden kann. Die aufgezeigten Investitionen können, sofern die Anlage der LEG betriebsbereit gehalten werden kann, im Anlagenbetrieb bzw. im erforderlichen Zeitraum der Abschaltung der Anlage ausgeführt werden, sofern die LEG hierzu ihre Zustimmung gibt.

15.2 Variante 5

Bei der Variante 5 sind weitere Tief- und Brunnenbauarbeiten erforderlich. Hierbei sind folgende Zeiten zu kalkulieren:

- konkretisierte Konzeptphase: 3 Monate nach Auftragserteilung,
- Planungsphase: 2 Monate nach Konzeptphase,
- Genehmigungsphase: 3 Monate nach Planungsphase,
- Ausführungsplanung mit Ausschreibung: 4 Monate nach Genehmigungsphase,
- Bauphase: 3 Monate nach Vergabe Tiefbauarbeiten.

Insgesamt ist vom Beginn der Konzeptphase bis zur Inbetriebnahme ein Zeitraum von 15 Monaten zu kalkulieren. Ggf. kann dieser Zeitraum auf 12 Monate reduziert werden. Die

aufgezeigten Investitionen können nicht im Anlagenbetrieb bzw. im erforderlichen Zeitraum der Abschaltung der Anlage durch die LEG ausgeführt werden.

Zur Aufrechterhaltung der Betriebsbereitschaft müsste der Anlagenbetrieb zu Beginn analog Variante 3 umgesetzt werden.

Über diesen Zeitraum muss die komplette Anlagentechnik „betriebsbereit“ vorgehalten werden.

16 Diskussion der Ergebnisse und Empfehlungen

Im Bereich Krefeld-Inrath/Kliedbruch (Stadtbezirk Nord) wurden in den Jahren 1979–1981 von der Landesentwicklungsgesellschaft Nordrhein-Westfalen GmbH (LEG) 47 Einfamilien-Reihenhäuser gebaut. Bei den Gebäuden liegen die Unterkanten der Bodenplatten so niedrig, dass sie temporär Kontakt zum Grundwasser haben. Die Sicherung der Häuser gegen „drückendes" Grundwasser wurde von der LEG mit dem Betrieb einer Anlage zur Grundwasserabsenkung gewährleistet. Im Jahr 2015 hat die LEG entschieden, die Gebäude nachträglich gegen drückendes Wasser abzudichten. Die Maßnahme wird Anfang 2020 abgeschlossen und die Grundwasserabsenkung wird beendet.

Infolge der Einstellung der Grundwasserabsenkung kann zukünftig ein Raum (Aussageraum gemäß **Anlage 1.2**) zwischen der Blumentalstraße im Westen und der Montessorischule im Osten betroffen sein, in dem die langjährigen Grundwasserstandschwankungen sich den natürlichen bzw. unbeeinflussten Grundwasserständen wieder annähern.

Als Folge des Ausschaltens der Förderbrunnen für den Modellstichtag 09.10.2014 lässt sich für die Grundwasserstandsmessstelle TB 15 ein um rund 0,4 m höherer Grundwasserstand berechnen. Ohne die Förderungen der LEG in den vergangenen Jahrzehnten hätten sich im Aussageraum somit regelmäßig höhere Grundwasserstände eingestellt. Diese sind direkt an den Förderbrunnen der LEG erwartungsgemäß mit > 1 m am höchsten. Mit zunehmendem Abstand zur LEG-Anlage nehmen diese, insbesondere nach Osten hin, auf Anstiege um 0,1 m ab. Dabei werden sich die Grundwasserstände innerhalb des langjährigen Schwankungsbereiches der seit 1960 in diesem Raum dokumentierten Grundwasserstände bewegen bzw. führen gegenüber den bisher dokumentierten Grundwasserständen absolut nicht oder allenfalls nur zu gering höheren Wasserständen.

Auf der Basis der durchgeführten Auswertungen und eines Grundwassermodells kann der Bemessungsgrundwasserstand an der Grundwassermessstelle TB 15, der als zu erwartender höchster Grundwasserstand maßgeblich für die Auslegung eines Gebäudes gegenüber drückendem Wasser ist, mit rund 32,0 mNHN berechnet werden.

Zukünftig muss also sowohl mit höheren Grundwasserständen wie auch mit einer zeitlichen Zunahme der Häufigkeit hoher Grundwasserstände gerechnet werden. **Die Auswertungen lassen die Prognose zu, dass sich mit der Einstellung der Förderung der LEG die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten des Lastfalls „drückendes Wasser" im Aussageraum erhöht. Damit kann aber ausdrücklich nicht die Aussage verbunden sein, dass die Zunahme derartiger Lastfälle auch zu einem „Schadensereignis", sprich zu einem nassen Keller, führen werden.** Wurden die

Gebäude im Aussageraum mit einer DIN-konformen Abdichtung gegenüber drückendem Wasser erbaut, so sollten die prognostizierten Grundwasserstände auch nicht zu einem Lastfall führen. Kenntnisse zur Art der Abdichtung der Gebäude gegenüber drückendem Wasser im Aussageraum bzw. zur Lage der Kellerbodenplatten liegen aber in der Regel nicht vor. Ausdrücklich können aus den vorliegenden Untersuchungen damit keine Aussagen zu einzelnen Gebäuden oder Flurstücken abgeleitet werden.

Bei einer fachgerechten Planung von Gebäuden hätten aufgrund der hydrogeologischen Ausgangssituation, und damit unabhängig von der Förderung der LEG über die letzten Jahre, in der Vergangenheit immer auch bauliche Maßnahmen gegen hohe Grundwasserstände bzw. von außen „drückendem Wasser“ berücksichtigt werden müssen. Die konkrete Planung eines Bauwerkes obliegt dabei dem Bauherrn bzw. der von ihm beauftragten Sonderfachleute [2]. Nach allgemeiner Rechtsprechung liegt das Baugrundrisiko beim Bauherrn. Im Hinblick auf hohe Grundwasserstände oder andere, die bauliche Nutzung einschränkende Merkmale des Grundstücks, besteht keine Amtspflicht zur Information und folglich auch kein Haftungsanspruch des Bürgers gegenüber dem Staat [34].

Ob und in welchen Umfang aus den höheren Grundwasserständen konkret „nasse Keller“ resultieren werden, lässt sich mit der Machbarkeitsstudie damit ausdrücklich nicht abschätzen. Aufgrund der natürlichen Schwankungen des Grundwassers, die letztlich abhängig sind von klimatischen Faktoren (z.B. Höhe und der Verteilung der Niederschläge) kann auch keine Prognose gestellt werden wann und über welchen Zeitraum relevant hohe Grundwasserstände auftreten. Dies zeigen ja auch eindrucksvoll die sinkenden Grundwasserstände seit Anfang 2018.

Es müsste, bewusst drastisch ausgedrückt, sozusagen „ein Schadensereignisse zugelassen werden“, um die konkrete Betroffenheit von Gebäuden gegenüber drückendem Wasser in der Fläche ableiten zu können.

Auf Basis der vorliegenden Auswertungen wie der Modellberechnungen ist eine Kappung der Grundwasserspitzen ab einer NHN-Höhe von 31,40/31,50 m im Bezugsraum Bönnersdyk (**Anlage 1.16**) sinnvoll. Die Anhebung des Einsetzens einer Grundwasserkappung gegenüber dem aktuellen Betrieb der LEG-Anlage (bezogen auf den Bezugsraum) liegt um rund 0,25 bis 0,3 m über dem Niveau, ab dem aktuell eine Förderung der LEG-Brunnen einsetzt. Diese Anhebung lässt erwarten, dass sich die Zeiträume, in denen aktive Grundwasserentnahmen erforderlich

werden, statistisch betrachtet annähernd halbieren (von 60 % auf 30 % bezogen auf den Zeitraum 1960 bis 2018).

Ob mit einer Kappung der Grundwasserspitzen ab diesem Höheniveau wirklich alle Gebäude gegenüber Grundwasser „geschützt“ werden können, kann nicht sicher gesagt werden. Mit einer Fortführung der Grundwasserentnahmen würde man auf Basis des jetzigen Kenntnisstandes „vorsorgend“, räumlich pauschal und ohne konkretes Wissen um mögliche Schadensereignisse (Lastfall), handeln.

Mit einer individuellen Überprüfung der Gebäude könnte man dagegen konkret die Gebäude schützen oder sanieren, die eine reale „Betroffenheit“ aufweisen (s.u.). Insofern wäre möglicherweise eine Korrektur erforderlich bis hin zu der Anlagenkonfiguration, wie sie aktuell betrieben wird.

Die höchste Betroffenheit ist zukünftig für den Raum westlich des Grünzuges Kliedbruch zu erwarten. Der Betreib einer Anlage zur Grundwasserabsenkung in diesem Raum hat auch Auswirkungen auf die Höhe der Grundwasserstände für den Raum östlich des Grünzuges Kliedbruch.

Beim Vergleich der Vorzugsvarianten 3 und 5 ist die Variante 3 dahingehend zu favorisieren, dass diese sofort betriebsbereit wäre. In Bezug der zu erwartenden Betriebs- und Wartungskosten sind beide als nahezu gleichwertig einzustufen, Variante 5 weist zu erwartende leicht geringfügigere Kosten auf. Variante 5 hat gegenüber Variante 3 dagegen ein höheres kurz- und mittelfristiges Investitionspotenzial. Demgegenüber sind bei Variante 3 längerfristige Investitionen „frühzeitiger“ zu erwarten, da die Anlagentechnik zum Teil älter ist (**Tabelle 27**). Gegenüber Variante 3 lassen sich die zu erwartenden Fördermengen der Variante 5 im Anlagenbetrieb feiner justieren, so dass damit mittelfristig wiederrum geringere Kosten zu erwarten sind.

Tabelle 27: Vor- und Nachteile der Vorzugsvarianten

	Variante 3	**Variante 5**
Zu erwartende Fördermenge pro Jahr	**+**	**++**
zeitliche Verfügbarkeit	**+++**	**+**
erforderliche Planungsleistungen	**+++**	**+**
Höhe der kurz- bis mittelfristigen Investitionskosten	**++**	**+**
Betriebs- und Wartungskosten	**+**	**++**
zu erwartende Flächenwirksamkeit der Absenkung	**+**	**++**
Möglichkeit der räumlichen Anpassung der der Förderung	**+**	**+++**

+: Nachteil +++: Vorteil

Eine Zusammenstellung der abgeschätzten **jährlichen Kosten im Anlagenbetrieb** zeigt **Tabelle 28**. Dabei sind in Bezug auf die Dauer des Anlagenbetriebes gegenüber der LEG jedoch geringere aktive Zeiträume zu erwarten (s.o.), so dass diese Kosten in dieser Höhe nicht jährlich anfallen müssen.

Tabelle 28: Zusammenstellung der abgeschätzten Kosten für die Varianten 3 und 5

Kosten	Variante 3 [€ brutto]	Variante 5 [€ brutto]
Investitionskosten langfristig	200.000,- bis 285.000,-	130.000,- bis 215.000,-
Investitionskosten kurz- bis mittelfristig (unter Verzicht Strippanlage)	255.000,- bis 330.000,-	465.000,- bis 580.000,-
Investitionskosten kurz- bis mittelfristig (Weiterbetrieb Strippanlage)	90.000,- bis 125.000,-	310.000,- bis 400.000,-
Betriebs-und Wartungskosten	215.000,- bis 275.000,-	195.000,- bis 250.000,-

Kurzfristig sollten folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Sofern eine der beiden Varianten zukünftig gewählt wird, sollten zeitnah Gespräche mit der LEG wie den übrigen bisher fachlich Beteiligten (SWK, Hölscher Wasserbau) geführt werden, da beide Varianten auf Anlagen zurückgreifen, die sich im Eigentum der LEG befinden oder von Dritten im Auftrag der LEG gewartet werden.
- Mit Einstellung der Förderung der LEG sollte das Messstellennetz im Aussageraum verdichtet und die neu eingerichteten Messstellen mit Datenloggern versehen werden, um die Entwicklung der Grundwasserstände konkret aufzeichnen zu können. Daraus sind weitere Konkretisierungen für einen zukünftigen Brunnenbetrieb abzuleiten.
- Im Rahmen dieser Studie wurde eine erste Vorauswahl von Flächen für die Einrichtung neuer Brunnenstandorte im Bereich von Grünanlagen angenommen. Sofern die geplante Umsetzung der Maßnahme und deren Finanzierung konkretisiert ist, sollte in einer Detailplanung insbesondere die Variante 5 nochmals verifiziert werden. Mit einer Verschiebung eines neuen Brunnens 4 nach Westen ist langfristig betrachtet eine geringe Reduzierung der erforderlichen Fördermengen und damit der Betriebskosten zu erwarten.
- Parallel hierzu sollte die reale Betroffenheit der Gebäude im Aussageraum durch eine ingenieurtechnische Erfassung und Bewertung der Höhenlagen der Bodenplatten wie auch der Schutz der Kellerräume gegenüber drückendem Wasser erfasst und beurteilt werden. Diese könnte, priorisiert mit den Gebäuden westlich des Grünzuges Kliedbruch

beginnen. Mit einer individuellen Überprüfung würde sich die „Betroffenheit“ räumlich eingrenzen lassen und man könnte dann konkrete Maßnahmen für die Gebäude / Räume ergreifen, die eine reale „Betroffenheit“ aufweisen. Für eine gebäudescharfe Ermittlung der Betroffenheit sind z.B. folgende Informationen erforderlich:

  - einzelobjektbezogene Angaben wie Lagepläne des Gebäudebestandes,
  - auf ein Bezugssystem bezogene Höhen der Oberkanten von Kellerbodenplatten,
  - die Art der Kellerbodenplatten und deren Mächtigkeit
  - die Art der Ausbildung der Kellerbodenplatten wie der aufgehenden Kelleraussenwände gegenüber drückendem Wasser.

- Eine auf Dauer angelegte Kappung der Grundwasserspitzen könnte dann ggf. zeitlich befristet eine Übergangslösung bieten.

17 Abschließende Hinweise

Werden im Zuge weiterer Untersuchungen oder Tief- bzw. Hochbauarbeiten nicht erkannte Sachverhalte oder andere Verhältnisse angetroffen als die Beschriebenen oder liegen neue Erkenntnisse vor, die Einfluss auf die Maßnahme haben, so bitten wir um Mitteilung um ergänzende Hinweise geben zu können.

Wir weisen darauf hin, dass aufgrund der angewendeten Methoden und deren Stichprobencharakter die Untergrundsituation außerhalb der dargestellten Aufschlusspunkte andere Eigenschaften oder Beschaffenheiten als die Beschriebenen haben können.

Das vorliegende Gutachten wurde unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen erstellt. Gutachterliche Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die dokumentierten Anknüpfungstatsachen, Prüfgegenstände und Untersuchungsergebnisse.

Dipl. Geol. Dr. R. Strotmann

18 Literaturverzeichnis

[1] AQUATECHNIK GESELLSCHAFT FÜR HYDROGEOLOGIE UND UMWELTSCHUTZ MBH (08.02.2002): UNTERSUCHUNGEN ZUR GRUNDWASSERABSENKUNG „RISLERDYK/BÖNNERSDYK“ IN KREFELD; BERICHT ZUR VERURSACHERERMITTLUNG DER LHKW-BELASTUNG.

[2] BWK MERKBLATT M8 (2009): ERMITTLUNG DES BEMESSUNGSGRUNDWASSERSTANDES FÜR BAUWERKSABDICHTUNGEN.

[3] DIN 18195:2017-07: ABDICHTUNG VON BAUWERKEN – BEGRIFFE. BEUTH VERLAG.

[4] DIN 18533 TEIL 1:2017-07: ABDICHTUNG VON ERDBERÜHRTEN BAUTEILEN - TEIL 1: ANFORDERUNGEN, PLANUNGS- UND AUSFÜHRUNGSGRUNDSÄTZE. BEUTH VERLAG, BERLIN.

[5] DIPL. ING. REINHARD TIMM (09.10.1989): ERLÄUTERUNGSBERICHT ZUM WASSERRECHTSANTRAG FÜR DIE WASSERHALTUNG „RISLERDYK – BÖNNERSDYK – WALLENBURGDYK“ IN KREFELD.

[6] DIPL. ING. REINHARD TIMM (27.08.1997): NACHWEIS DER HYDRAULISCHEN LEISTUNGSFÄHIGKEIT DER NIEPKUHLEN – NACHTRAG ZUM WASSERRECHTSANTRAG FÜR DIE WASSERHALTUNG „RISLERDYK – BÖNNERSDYK – WALLENBURGDYK“ IN KREFELD VOM 12.10.1989.

[7] DIPL. ING. REINHARD TIMM (05.07.2011): WASSERHALTUNG BÖNNERSDYK, KREFELD – ENTWICKLUNG DER GRUNDWASSERSTÄNDE VON 1989 BIS 2011

[8] DR. STROTMANN UMWELTBERATUNG GMBH (20.03.2012): ERLÄUTERUNGSBERICHT ZUM 3. ÄNDERUNGSANTRAG AUF ERTEILUNG EINER WASSERRECHTLICHEN ERLAUBNIS GEMÄß § 8 WHG ZUR ENTNAHME VON GRUNDWASSER ZUR GRUNDWASSERABSENKUNG UND ABLEITUNG IN GEEIGNETE VORFLUTER FÜR DAS OBJEKT RISLERDYK, WALLENBURGDYK UND BÖNNERSDYK, KREFELD; PROJEKT-NR. KR 025/2011 RS

[9] DR. STROTMANN UMWELTBERATUNG GMBH (04.03.2014): PROJEKTSTUDIE ZUR OPTIMIERUNG DER GRUNDWASSERABSENKUNGSMAßNAHME RISLERDYK FÜR DAS OBJEKT RISLERDYK, WALLENBURGDYK UND BÖNNERSDYK, KREFELD; PROJEKT-NR. KR 027/2013 RS

[10] GEOLOGISCHER DIENST NRW (1983): GEOLOGISCHE KARTE – BLATT KREFELD (C 4702), MAßSTAB 1:100.000

[11] GEOLOGISCHER DIENST NRW (1989): INGENIEURGEOLOGISCHE KARTE BLATT KREFELD (4605), MAßSTAB 1:25.000

[12] GEOLOGISCHER DIENST NRW (1980): BODENKARTE VON NORDRHEIN-WESTFALEN – BLATT KREFELD (L 4704), MAßSTAB 1:50.000

[13] GEOPORTAL NRW: DIGITALES GELÄNDEMODELL STADTGEBIET KREFELD (ONLINEABRUF 04.04.2019)

[14] KELLER, M. (1995): HYDROGEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN IM BEREICH DER GRUNDWASSERSCHEIDE SCHEIDE ZWISCHEN RHEIN UND MAAS BEI KREFELD – DIPLOMARBEIT, WESTFÄLISCHE WILHELMS-UNIVERSITÄT, MÜNSTER

[15] KELLER, M. (1995): QUARTÄRGEOLOGISCHE DIPLOMKARTIERUNG IM NORDWESTEN KREFELDS – DIPLOMKARTIERUNG, WESTFÄLISCHE WILHELMS-UNIVERSITÄT, MÜNSTER

[16] KOEHNE, W. (1953): GUTACHTEN ZUR WASSERVERSORGUNG IM KREFELDER RAUM, GRUNDWASSERKUNDLICHER TEIL.

[17] LIMBERG, ALEXANDER; HÖRMANN, U.; VERLEGER, H. (2015): BERLINS GRUNDWASSERAUSKÜNFTE JETZT AUCH ONLINE. BAUKAMMER BERLIN 2015 NR. 3 S. 9–21.

[18] LANDESGRUNDWASSERDIENST NRW (19XY): GRUNDWASSERGLEICHENKARTE – BLATT KREFELD (L 4704), MAßSTAB 1:50.000

[19] LINEG (MAI 2019): DIVERSE ZEITREIHEN ZUR MESSUNG DER GRUNDWASSERSTÄNDE AUSGEWÄHLTER GRUNDWASSERMESSSTELLEN IM EINZUGSGEBIET DES ARBEITSRAUMES

[20] LINEG BAUPLAN:

[21] NIEDERSÄCHSICHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ (2013): LEITFADEN FÜR DIE BEWERTUNG DES MENGENMÄßIGEN ZUSTANDS DER GRUNDWASSERKÖRPER IN NIEDERSACHSEN UND BREMEN NACH EG-WASSERRAHMENRICHTLINIE (WRRL)

[22] SIMON, S. (2014): VERNÄSSUNGSPROBLEME DURCH HOHE GRUNDWASSERSTÄNDE UND WIEDERANSTIEG DES GRUNDWASSERS IM RHEINISCHEN BRAUNKOHLENREVIER. WASSER UND ABFALL 2014 NR. 7/8 S. 52–56.

[23] SIMON, S. (2013): VERNÄSSUNGSPROBLEME AN GEBÄUDEN DURCH HOHE GRUNDWASSERSTÄNDE -MODELLGESTÜTZTE ERARBEITUNG VON LÖSUNGSANSÄTZEN ZUR KAPPUNG VON GRUNDWASSERSPITZEN UND DEREN UMSETZUNG IM STADTGEBIET VON KORSCHENBROICH (NRW). KW KORRESPONDENZ WASSERWIRTSCHAFT JG. 6 (2013) NR. 4 S. 181–188.

[24] SCHLIMM, W. (1980): HYDROGEOLOGISCHE VORAUSSETZUNGEN FÜR EINE GRUNDWASSERANREICHERUNG AN AUSGEWÄHLTEN STANDORTEN IM KREFELDER STADTGEBIET (GLA NRW), KREFELD

[25] SIEBERT, G. (1974): DAS GRUNDWASSER IM RAUM KREFELD – FORTSCHR. GEOL. RHEINLD. U. WESTF., 20, KREFELD

[26] STADT BERLIN: HTTPS://WWW.BERLIN.DE/SENUVK/UMWELT/WASSER/HYDROGEO/DE/ZEHGW.SHTML (26.07.2018) HTTPS://WWW.BERLIN.DE/SENUVK/UMWELT/WASSER/WASSERRECHT/PDF/HGW-ARTIKEL.PDF)

[27] STROTMANN, R. (1997): HYDROLOGISCHE AUSWIRKUNGEN DER SIEDLUNGSENTWICKLUNG AUF DEN WASSERKREISLAUF AM BEISPIEL DER STADT KREFELD ÜBER DEN ZEITRAUM 1800 BIS 1995 – DISSERTATION, RHEINISCH-WESTFÄLISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE, AACHEN

[28] STROTMANN, R. (2002): DAS KLIMA IM RAUM KREFELD.- NATUR AM NIEDERRHEIN (N. F.) **16** (1,2): 62-70; KREFELD.

[29] STROTMANN, R. & HOLL-HAGEMEIER, C. (2002): KREFELDS GRUNDWASSER.- HRSG.: SWK STADTWERKE KREFELD AG: KREFELDER WASSER – 125 JAHRE ZENTRALE WASSERVERSORGUNG: 29 – 39; KREFELD.

[30] STROTMANN, R. (2010): HYDROLOGISCH-HYDROGEOLOGISCHE BESTANDSAUFNAHME DER NIEPKUHLEN UND DES FLÖTHBACHES IM STADT GEBIET VON KREFELD.- SCHRIFTENREIHE DER DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN (SDGG), HEFT **73** UND NATUR AM NIEDERRHEIN (N. F.) **25** (2): 163-174; STUTTGART.

[31] STROTMANN, R. (2013): DIE ENTWICKLUNG DER GRUNDWASSERSTÄNDE IM RAUM KREFELD. NATUR AM NIEDERRHEIN (N. F.) JG. 29 (2013) NR. 2 S. 3–21.

[32] STROTMANN, R. (2016**):** DEUTET DIE WITTERUNG AN DER WETTERSTATION TÖNISVORST IM JAHR 2015 AUF EINE KLIMAÄNDERUNG HIN? - NATUR AM NIEDERRHEIN - (N. F.) **31** (1)

[33] STADT KREFELD (2019): AUSWERTUNG DES FRAGEBOGENS „ERMITTLUNG VON GEBÄUDEDATEN IM MUTMAßLICHEN EINFLUSSBEREICH DER GRUNDWASSERABSENKUNG IM DYKGEBIET“ VOM HERBST 2018

[34] WD (2016): GRUNDHOCHWASSER UND HOCHWASSERSCHUTZ SOWIE HAFTUNGSFRAGEN BEI SCHÄDEN DURCH GRUNDWASSERHOCHSTÄNDE. WISSENSCHAFTLICHER DIENST DES DEUTSCHEN BUNDESTAGS. WD 7 - 3000 - 008/15. URL: HTTPS://WWW.BUNDESTAG.DE/BLOB/407492/E77368B451C23FB2B6F71D505F79613A/WD-7-008-15-PDF-DATA.PDF (AUFRUF: 20/05/2019).