

Teil 3: Wassertechnische Berechnungen

Inhaltsverzeichnis

1	Wassertechnische Berechnungen für Variante 3	2
1.1	Hydraulische Grundlagen	2
1.1.1	Wasserzufluss zum vollkommenen Brunnen	2
1.1.2	Unvollkommener Brunnen	2
1.1.3	Berechnung der Reichweite R	3
1.1.4	Fassungsvermögen eines Brunnens	3
1.2	Hydraulische Auswertung des Isohypsenbildes, April 2012	3
1.2.1	Ausgangssituation	3
1.2.2	Grundwasserabsenkungen	4
1.2.3	Vergleich der gemessenen mit errechneten Grundwasserabsenkungen	5
1.3	Brunnenvarianten zur Grundwasserabsenkung	6
1.3.1	Verwendung der vorhandenen Entnahmebrunnen	6
1.3.2	Grundwasserabsenkung durch neue Entnahmebrunnen	7
1.3.3	Entnahmemengen	10
2	Wassertechnische Berechnungen für Variante 4	11
3	Wassertechnische Berechnungen für Variante 5	12
3.1	Auswertung der Grundwasserstandsmessungen	12
3.2	Beurteilung der Vorflutmöglichkeiten	16
3.3	Berechnung der Dränanlage	17
3.3.1	Hydraulische Grundlagen	17
3.3.2	Berechnung des Dränabstandes	18
3.3.3	Bemessung der Schluckbrunnen	19

Anhang

Allgemeine Messstellendaten

Lage der GWM

1 Wassertechnische Berechnungen für Variante 3

1.1 Hydraulische Grundlagen

1.1.1 Wasserzufluss zum vollkommenen Brunnen

$$Q = \frac{\pi \cdot k (H^2 - h^2)}{\ln R - \ln r}$$

Hierin bedeuten: Q = Zufluss (m³/s)

k = k_r-Wert des Grundwasserleiters (m/s)

H = Entfernung GW-Oberfläche ./.. Wasserstauer

h = Höhe des abgesenkten GW-Spiegels über
Wasserstauer in x m von Brunnenmitte entfernt.

R = Reichweite der Grundwasserabsenkung (m)

r = Brunnenradius (m)

Daraus folgt für die Gleichung der Senkungslinie

$$h_2^2 - h_1^2 = \frac{Q}{\pi \cdot k} (\ln x_2 - \ln x_1)$$

1.1.2 Unvollkommener Brunnen

Für den unvollkommenen Brunnen gilt

$$Q_{\text{unvoll.}} = P \cdot Q_{\text{vollk.}}$$

Der unvollkommene Brunnen erreicht nicht den Grundwasserstauer, sondern endet d (m) über diesem. Nach den Skripten des Zentrums Geotechnik der TU München gelten für P folgende Werte:

$$d \leq L : \quad Q_{\text{unvollk.}} = 1,1 \cdot Q_{\text{vollk.}}$$

$$L = \quad = \quad \text{Abstand Grundwasser ./.. Brunnenunterkante}$$

$$L < d \leq 2 \cdot L : \quad Q_{\text{unvollk.}} = 1,2 Q_{\text{vollk.}}$$

$$d > 2 L : \quad Q_{\text{unvollk.}} = 1,3 Q_{\text{vollk.}}$$

1.1.3 Berechnung der Reichweite R

$$R = 3.000 \cdot s \cdot \sqrt{k} \text{ (m)}$$

s = Grundwasserabsenkung im Brunnen (m)

1.1.4 Fassungsvermögen eines Brunnens

$$Q_{\text{mögl.}} = 2\pi r \cdot (H - s) \cdot \frac{\sqrt{k}}{15} \text{ (m}^3/\text{s)}$$

1.2 Hydraulische Auswertung des Isohypsenbildes, April 2012

1.2.1 Ausgangssituation

Laut Gutachten HMM erfolgte die Grundwasserabsenkung im April 2012 durch die Brunnen 1, 4 und 5. Laut telefonischer Rücksprache mit Herrn Meyer vom Büro HMM am 21.08.2012 war der Brunnen 3 nur in der Anfangsphase im September mit in Betrieb.

Die Brunnen schließen eine Fläche von 10.695 m² ein. Daraus resultiert der Radius eines Ersatzbrunnens von $r_E = 58,3$ m.

Der Mittelpunkt des Ersatzbrunnens wird in den Schwerpunkt der Dreiecksfläche gelegt. Daraus resultieren folgende Abstände der Entnahme-Brunnen vom Mittelpunkt des Ersatzbrunnens:

$$\text{Br. 1} \quad x \quad = 138 \text{ m}$$

$$\text{Br. 4} \quad x \quad = 110 \text{ m}$$

$$\text{Br. 5} \quad x \quad = 67 \text{ m}$$

Zielsetzung: Bestimmung des k_f -Wertes

1.2.2 Grundwasserabsenkungen

Achse SW - NO

$$H = 38,60 \text{ m}$$

x	GW Sept. 2011 (m ü. NN)	GW April 2012 (m ü. NN)	s (m)	h (m)
103	7,23	5,0	2,23	36,37
192	7,26	5,5	1,76	36,84
292	7,31	6,0	1,31	37,29
448	7,38	6,5	0,88	37,72
637	7,45	7,0	0,45	38,15
948	7,75	7,5	0,25	38,35

Gemessene Entnahmemenge April 2012: 175.000 m³/Mon.

$$= 0,0675 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = \pi \cdot k_f \frac{h_2^2 - h_1^2}{(\ln x_2 - \ln x_1)}$$

$$k_f = \frac{Q \cdot (\ln x_2 - \ln x_1)}{\pi \cdot (h_2^2 - h_1^2)}$$

$$= 0,0215 \cdot \frac{\ln x_2 - \ln x_1}{h_2^2 - h_1^2}$$

$$x_2 = 948 \text{ m} \quad h_2 = 38,35 \text{ m}$$

$$x_1 = 103 \text{ m} \quad h_1 = 36,37 \text{ m}$$

$$k_f = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$x_2 = 637 \text{ m} \quad y_2 = 38,15 \text{ m}$$

$$x_1 = 103 \text{ m} \quad y_1 = 36,37 \text{ m}$$

$$k_f = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$x_2 = 448 \text{ m} \quad y_2 = 37,72 \text{ m}$$

$$x_1 = 103 \text{ m} \quad y_1 = 36,37 \text{ m}$$

$$k_f = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$x_2 = 292 \text{ m} \quad y_2 = 37,29 \text{ m}$$

$$x_1 = 103 \text{ m} \quad y_1 = 36,37 \text{ m}$$

$$k_f = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

$$x_2 = 192 \text{ m} \quad y_2 = 36,84 \text{ m}$$

$$x_1 = 103 \text{ m} \quad y_1 = 36,37 \text{ m}$$

$$k_f = 3,9 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$$

gewählt: $k_f = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

1.2.3 Vergleich der gemessenen mit errechneten Grundwasserabsenkungen

$$h_1^2 = h_2^2 - \frac{Q}{\pi \cdot k} (\ln x_2 - \ln x_1)$$

$$h_2 = 38,35 \text{ m}$$

$$x_2 = 948 \text{ m}$$

$$h_1^2 = 38,35^2 - 67,14 \cdot (\ln x_2 - \ln x_1)$$

$$= 38,35^2 - 460,2 + 67,14 \ln x_1$$

$$= 1.010,5 + 67,14 \cdot \ln x_1$$

x (m)	h (m), gerechnet	h (m) gemessen
103	36,35	36,37
192	36,93	36,84
292	37,30	37,29
448	37,69	37,72
637	38,00	38,15
948	38,35	38,35

1.3 Brunnenvarianten zur Grundwasserabsenkung

Für die Varianten 3 und 4 war vorgegeben worden, in definierten Bereichen eine Grundwasserabsenkung von bis 2,0 m unter Gelände zu erreichen, in den außerhalb der definierten Bereiche liegenden Flächen von 0,50 m unter Gelände.

1.3.1 Verwendung der vorhandenen Entnahmebrunnen

Es wurde zunächst geprüft, ob dieses Ziel mit den vorhandenen Brunnen 1, 4 und 5 erreicht werden kann. Nach den Angaben der SWD haben diese Brunnen eine Förderleistung von max. 260 m³/h entsprechend 0,0722 m³/s.

R = 1.200 m, abgeleitet aus Isohypsenplan 04/2012,

r = 58,3 m (s. Teil 3, Pkt. 1.2.1)

H = 39,50 m (GW = 0,50 m unter GOK)

$$\begin{aligned} 0,0722 &= \pi \cdot k \cdot \frac{39,5^2 - h^2}{\ln 1.200 - \ln 58,3} \\ &= 0,519 - 3,32 \cdot 10^{-4} h^2 \\ 3,32 \cdot 10^{-4} h^2 &= 0,4468 \\ h^2 &= 1.346 \\ h &= 36,68 \text{ m} \end{aligned}$$

Ergebnis: 58,30 m vom rechnerischen Brunnenmittelpunkt entfernt liegt der abgesenkte Grundwasserstand bei 36,68 m über der GW-Sohle, der Grundwasserspiegel damit 3,32 m unter Gelände.

$$\begin{aligned} x = 230 \text{ m: } \quad h^2 - 36,68^2 &= \frac{Q}{\pi \cdot k} (\ln 230 - \ln 58,3) \\ h &= 38,00 \text{ m} \end{aligned}$$

Ergebnis: In einer Entfernung von 230 m vom rechnerischen Brunnenmittelpunkt liegt der abgesenkte Grundwasserstand 2,0 m unter Gelände.

1.3.2 Grundwasserabsenkung durch neue Entnahmebrunnen

Die Entwässerungswirkung eines Entnahmebrunnens wird außer von den örtlichen Gegebenheiten durch folgende Parameter bestimmt:

- Durchmesser des Brunnens
- Tiefe des Brunnens und seine Filterlänge
- Entnahmemenge, die durch das Fassungsvermögen begrenzt wird.

Ein gewünschtes Maß der Grundwasserabsenkung kann mit einer großen Zahl von Brunnen mit geringer Tiefe und entsprechend geringer Filterlänge erreicht werden, das gleiche Entwässerungsergebnis lässt sich aber auch mit einer geringeren Anzahl von Brunnen größerer Tiefe und entsprechend größerer Filterlänge erreichen. Um hier zu einer sinnvollen Konstellation zu kommen, wurden zunächst umfangreiche Vergleichsberechnungen mit Variierung der o. g. Parameter durchgeführt.

Als erstes Ergebnis dieser Vergleichsberechnungen ist festzuhalten, dass sowohl für die Wirksamkeit als Entwässerungsbrunnen als auch für die praktische Umsetzung der Brunnendurchmesser 0,40 m zu empfehlen ist.

Mit diesem Brunnendurchmesser werden die nachfolgenden Vergleichsrechnungen durchgeführt.

Feste Parameter: $r = 0,20 \text{ m}$
 $k_f = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
 $H = 39,5 \text{ m}$ (bei vollk. Brunnen)
 $P = 1,1$

a) $s = 4 \text{ m}$ $R = 215 \text{ m}$ $H = 19,5 \text{ m}$ $h = 15,5 \text{ m}$
 $Q' = 0,0202 \text{ m}^3/\text{s}$
 $Q = 1,1 \cdot Q'$

$$= 0,022 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$y = 18 \text{ m} : x = 16,80 \text{ m}$$

16,80 m vom Brunnenmittelpunkt wird der Flurabstand
2 m erreicht.

$$Q_{\text{mögl.}} = 2\pi r (H - s) \frac{\sqrt{k}}{15}$$

$$= 0,0015 \cdot (H - s)$$

$$\text{erforderliche Filterlänge: } 0,022/0,0015$$

$$= 14,70 \text{ m}$$

b) $s = 5 \text{ m}$

$$R = 268 \text{ m} \quad H = 20,5 \text{ m} \quad h = 15,5 \text{ m}$$

$$Q' = 0,025 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 1,1 \cdot 0,025$$

$$= 0,0275 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$y = 19 \text{ m} : x = 25 \text{ m}$$

$$\text{erforderliche Filterlänge: } 0,0275/0,0015$$

$$= 18,40 \text{ m}$$

c) $s = 6 \text{ m}$

$$R = 322 \text{ m} \quad H = 24 \text{ m} \quad h = 18 \text{ m}$$

$$Q' = 0,034 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,0377 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$y = 22,5 \text{ m} : x = 50$$

$$\text{erforderliche Filterlänge: } 0,0377/0,0015$$

$$= 25,15 \text{ m}$$

d) $s = 7 \text{ m}$

$$R = 376 \text{ m} \quad H = 27 \text{ m} \quad h = 20 \text{ m}$$

$$Q = 0,0439 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (vollk. Br.)}$$

$$y = 25,5 \text{ m} : x = 73 \text{ m}$$

$$\text{erforderliche Filterlänge: } 0,0483/0,0015$$

$$= 29,30 \text{ m}$$

Entnahmemengen, wirksame Reichweiten, Brunnentiefen, Brunnenlängen, Filterlängen

Brunnen	Absenkung in Br. (m)	Tiefe (m)	Filter (m)	WR (m)	Q (m ³ /s)	A (m ²)	(2WR) ² (m ²)	q (l/s·ha)
a	4	20,00	15,00	16,80	0,022	887	1.129	195
b	5	24,50	18,50	25,00	0,025	1963	2.500	100
c	6	29,50	22,50	50,00	0,034	7.854	10.000	34
d	7	37,50	29,50	73,00	0,048	16.742	21.316	22,5

WR = wirksame Reichweite; das ist die Entfernung von Brunnenmitte, in der noch ein Flurabstand des Grundwassers von 2 m gehalten wird.

A = Fläche des Kreises mit dem Radius WR

q = entnommene Grundwassermenge, um für 1 ha Fläche den Flurabstand von 2,0 m sicherzustellen.

1.3.3 Entnahmemengen

Bei 27,0 ha zu entwässernder Fläche werden

$$27/2,1316 = 13 \text{ Brunnen}$$

des Typs d erforderlich:

$$Q = 13 \cdot 0,048$$

$$= 0,624 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 2.246 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$= 19,7 \text{ Mio. m}^3/\text{a bei ständiger Förderung}$$

2 Wassertechnische Berechnungen für Variante 4

Die grundwasserhydraulischen Berechnungen für die Variante 3 (s. Teil 3, Pkt. 3.1) gelten grundsätzlich auch für die Variante 4. Für die Variante 4 muss dementsprechend auch der für Variante 3 entwickelte Brunnentyp d eingesetzt werden:

$$\begin{aligned} \text{Absenkung } s &= 7 \text{ m} \\ \text{Tiefe} &= 37,5 \text{ m} \\ Q &= 0,048 \text{ m}^3/\text{s} \\ x &= 73 \text{ m (Entfernung von Brunnenmitte, in der die} \\ &\quad \text{GW-Absenkung noch 2,0 m beträgt.)} \\ (2x)^2 &= 21.316 \text{ m}^2 \\ q &= 22,5 \text{ l/(s} \cdot \text{ha)} \end{aligned}$$

Erforderliche Anzahl der Brunnen:

$$\begin{aligned} n &= 10,5 \text{ ha} / 2,1316 \text{ ha} \\ &= 5 \text{ Brunnen} \\ Q &= 5 \times 0,048 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 240 \text{ l/s} \\ &= 864 \text{ m}^3/\text{h} \\ &= 7,6 \text{ Mio. m}^3/\text{a bei ständiger Entnahme} \end{aligned}$$

3 Wassertechnische Berechnungen für Variante 5

3.1 Auswertung der Grundwasserstandsmessungen

Die SWD haben in der Vergangenheit bis jetzt Grundwasserstandsmessungen im Einzugsgebiet des Wasserwerkes durchgeführt. Sie betreiben ein umfangreiches Messnetz, aus dem rd. 20 Grundwassermessstellen (GWM) für die vorliegenden Untersuchungen verwendet werden. Bei der Auswertung der Daten ergab sich, dass die Datenlage für 6 Brunnen nicht ausreicht, um hieraus statistische Aussagen abzuleiten.

Ziel der Auswertungen ist es, Aussagen aus den Messwerten abzuleiten, welche Flurabstände des Grundwassers für den Erhalt des verbliebenen Baumbestandes anzustreben sind.

Es ist anzunehmen, dass das arithmetische Mittel einer Messreihe nicht unbedingt zu dieser Aussage führt, da der Mittelwert in der Regel deutlich von Extremwerten beeinflusst wird. Es wird daher eine Häufigkeitsanalyse für die Messreihen von 14 GWM durchgeführt. Aus diesen Ergebnissen wird der anzustrebende Flurabstand/Grundwasserstand abgeleitet. Die Brunnen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet. Die Häufigkeitsuntersuchungen wurden für jede GWM tabellarisch durchgeführt. Diese Tabellen liegen beim unterzeichnenden Ingenieurbüro vor. Die Ergebnisse sind nachfolgend tabellarisch aufgelistet. Die Messreihen bestehen aus monatlichen Messungen in der Zeit von 1995/1996 bis 2012. An jeder Messstelle wurden rd. 200 Grundwasserstandsmessungen durchgeführt. Die Lage der GWM ist Anlage 3, Blatt 5.2 sowie dem Anhang zu diesen Berechnungen zu entnehmen. Dort sind auch die allgemeinen Messstellendaten abgelegt.

Häufigkeitsanalyse der Grundwasserstände

Klassenbreite 0,20 m, z. B. 5,21 - 5,40 m ü. NN

GWM	Messbereich
GWM 3	6,60 - 3,41 m ü. NN
GWM 4	7,00 - 3,61 m ü. NN
GWM 5	7,60 - 4,21 m ü. NN
GWM 7	7,40 - 3,81 m ü. NN
GWM 8	7,20 - 4,21 m ü. NN
GWM 10	7,80 - 4,61 m ü. NN
GWM 11	6,80 - 2,61 m ü. NN
GWM 15	6,80 - 3,81 m ü. NN
GWM 16	7,40 - 4,21 m ü. NN
GWM 17 a	7,40 - 3,41 m ü. NN
GWM 18	7,60 - 5,81 m ü. NN
GWM 201	7,40 - 4,61 m ü. NN
GWM 202	7,40 - 4,81 m ü. NN
GWM 205	8,00 - 5,81 m ü. NN
GWM 206	7,80 - 5,81 m ü. NN
GWM 207	7,80 - -1,81 m ü. NN (nicht geeignet)

Auswertung der Grundwasserstandsmesswerte

GWM	GOK (m ü. NN)	häufigster Wert (m ü. NN)				Messbereich mit 50 % aller Messwerte			
		Messbereich (m ü. NN)		Flurabstand (m)		(m ü. NN)		Flurabstand (m)	
		von	bis	von	bis	von	bis	von	bis
3	6,45	5,21	5,40	1,24	1,05	4,90	5,70	1,55	0,75
4	6,84	5,81	6,00	1,09	0,84	5,41	6,00	1,43	0,84
5	7,72	5,41	5,60	2,31	2,12	5,15	5,85	2,57	1,87
7	7,27	5,61	5,80	1,66	1,47	5,25	6,05	2,02	1,22
8	7,04	5,61	5,80	1,43	1,24	5,30	5,90	1,74	1,14
10	8,01	5,41	5,60	2,60	2,41	5,41	6,00	2,60	2,01
15	6,59	5,21	5,40	1,38	1,19	5,15	5,85	1,44	0,74
16	6,80	5,81	6,20	0,99	0,60	5,61	6,30	1,19	0,50
17 a	6,70	5,01	5,20	1,69	1,50	4,81	5,60	1,89	1,10
18	7,30	6,81	7,00	0,49	0,30	6,55	7,05	0,75	0,25
201	7,84	5,61	5,80	2,23	2,04	5,30	5,90	2,54	1,94
202	7,39	6,01	6,20	1,38	1,19	5,65	6,25	1,74	1,14
205	8,39	7,01	7,20	1,38	1,19	6,80	7,30	1,59	1,09
206	8,00	6,61	6,80	1,39	1,20	6,55	7,05	1,45	0,45

Ergebnistabelle

GWM	MGW (m ü. NN)	Flurabstand MGW (m)	Häufigste Mess- werte Flurabstand (m)	50 % der Mess- werte Flurabstand (m)
3	5,26	1,19	1,24 - 1,05	1,55 - 0,75
4	5,68	1,16	1,09 - 0,84	1,43 - 0,84
5	5,61	2,11	2,31 - 2,12	2,57 - 1,87
7	5,67	1,60	1,66 - 1,47	2,02 - 1,22
8	5,75	1,29	1,43 - 1,24	1,74 - 1,14
10	5,75	2,26	2,60 - 2,41	2,60 - 2,01
15	5,40	1,19	1,38 - 1,19	1,44 - 0,74
16	5,93	0,87	0,99 - 0,60	1,19 - 0,50
17 a	5,35	1,35	1,69 - 1,50	1,89 - 1,10
18	6,77	0,53	0,49 - 0,30	0,75 - 0,25
201	5,65	2,19	2,23 - 2,04	2,54 - 1,94
202	6,08	1,31	1,38 - 1,19	1,74 - 1,14
205	7,06	1,33	1,38 - 1,19	1,59 - 1,09
206	6,79	1,21	1,39 - 1,20	1,45 - 0,95

Die Ergebnistabelle zeigt, dass die häufigsten Messwerte der Grundwasserstände in vielen Fällen bei relativ großen Flurabständen des Grundwassers festgestellt wurden, z. B. Brunnen 17 a bei einem Flurabstand von 1,69 m bis 1,50 m. 50 % aller Messwerte wurden bei dieser GWM bei 1,89 m bis 1,10 m Flurabstand gewonnen. Hier zeigen sich die durch Wasserförderung verursachten Grundwasserabsenkungen.

Eine Ausnahme zeigen die Ergebnisse für die GWM 18 in unmittelbarer Nähe der Kleinen Delme. Dort beträgt der mittlere Flurabstand des Grundwassers nur 0,53 m. 50 % der Messwerte wurden bei einem Flurabstand des Grundwassers von 0,75 m bis 0,25 m festgestellt. Die Ursache hierfür dürfte die Lage direkt an

der Kleinen Delme sein, deren hoher Wasserspiegel zu einer Infiltration aus dem Flusslauf in das Grundwasser führt.

Die Gegenüberstellung von Mittleren Grundwasserständen (MGW) und häufigsten Messwerten zeigt, dass der MGW im Bereich der häufigsten Messwerte liegt.

Mit Dränmaßnahmen in den Talflächen soll dort ein Grundwasserniveau gehalten werden, der für die bestehende Baumvegetation günstige Lebensbedingungen schafft. Hierfür wird auf der Grundlage der vorliegenden Auswertungen ein Grundwasserflurabstand von mindestens 0,80 m bis 1,00 m für erforderlich angesehen und vorgeschlagen. Dieser Wert wurde auch mit dem Institut für Baumpflege, Hamburg, abgestimmt (Telefongespräch Prof. Lange / Dr. Stobbe am 14.01.2013).

3.2 Beurteilung der Vorflutmöglichkeiten

Um festzustellen, ob Dränanlagen mit freier Vorflut an die Gewässer angeschlossen werden können, wurde eine Höhenauswertung vorgenommen. Hierfür standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- Höhenaufmaß der Stadt Delmenhorst für den Bereich der Grünanlagen, s. Anlage 3, Blatt 5.3.
- Längsschnitt Delme (Ingenieurbüro Thalen 1999)
- Längsschnitt Kleine Delme (Ingenieurbüro Thalen 1999)
- Längsschnitt Hoyersgraben (Ingenieurbüro Thalen 1999)
- Höhenaufnahme zur Graftanlage
Vermessungsbüro Ehrhorn, Dezember 2012, Anlage 3, Blatt 5.1

Die durch Dränung zu entwässernden Talflächen liegen z. T. unter 7,0 m ü. NN, z. B. 6,64 m ü. NN. Um für die Baumvegetation verträgliche Wasserverhältnisse zu erreichen, müsste der Grundwasserspiegel dort auf 0,80 m unter Gelände, d. h. auf 5,84 m ü. NN, gehalten werden. Für die Dränvorflut müsste dann ein Vorflutniveau von mind. 5,54 m ü. NN zur Verfügung stehen.

Für die Gewässer wurden im Dezember 2012 folgende Spiegelhöhen im Planungsbereich gemessen:

- Delme 8,06 m ü. NN
- Kleine Delme 7,18 m ü. NN
- Hoyersgraben 6,50 m ü. NN

In den Längsschnitten von 1999 liegen die Wasserstände in ähnlicher Höhe.

Die Delme speist die Graften und ist ständig hoch über Gelände eingestaut. Sie kommt als oberirdischer Vorfluter für die Talflächen nicht in Frage. Aber auch die Kleine Delme und der Hoyersgraben sind nicht in der Lage, Wasser aus tiefer gelegenen Flächen mit freier Vorflut aufzunehmen, wenn ein Flurabstand des Grundwassers von mindestens 0,80 m erreicht werden soll, selbst wenn man den Wasserspiegel durch Sohlräumung absenken würde. Bei der Entwässerung tiefer gelegener Flächen kann dieses nur durch Dränung mit Ableitung des Dränwassers über Dränpumpwerke erfolgen, s. auch beigefügte Prinzipdarstellung der Höhenverhältnisse.

Delme	<u>▽ 8,06</u>		
Kleine Delme	<u>▽ 7,18</u>		
Hoyersgraben	<u>▽ 6,50</u>	GOK	<u>6,64</u>
		GW	<u>5,84</u>
		Vorflut	<u>5,54</u>

3.3 Berechnung der Dränanlage

3.3.1 Hydraulische Grundlagen

- s. EGGELSMANN, Dränanleitung. Landbau, Ingenieurbau, Landschaftsbau, 2. Auflage 1981, Verlag Paul Parey

Berechnung des Dränabstandes nach der Formel von Hooghoudt

$$a = \sqrt{\frac{8 \cdot k_{f2} \cdot d \cdot h}{s} + \frac{4 \cdot k_{f1} \cdot h^2}{s}}$$

Es bedeuten:

- a = Dränabstand in m;
- k_{f1} = Durchlässigkeitsbeiwert der Bodenschicht oberhalb des Dräns in m/Tag;
- k_{f2} = Durchlässigkeitsbeiwert der Bodenschicht unterhalb des Dräns in m/Tag;
- d = Faktor in m;
Äquivalente Dicke der durchströmten Bodenschicht unterhalb der Dränrohrachse in Abhängigkeit von a;
- D = Abstand der Grundwassersohle vom Drän in m;
- h = Höhe des zulässigen Grundwasserspiegels über Drän in m;
- t = Dräntiefe in m;
- s = max. abzuführender Niederschlag in m/Tag.

d und s werden aus entsprechenden Tabellen in EGGELSMANN ermittelt.

3.3.2 Berechnung des Dränabstandes

- $k_{f1} = k_{f2} = 10^{-5} \text{ m/s} = 0,864 \text{ m/d}$
- d = 1,53 m nach EGGELSMANN bei geschätztem Dränabstand
a = 15 m
- D > 5 m
- h = 0,5 m
- t = 1,5 m
- s = 9 mm/d
= 0,009 m/d

$$a = \sqrt{\frac{8 \cdot 0,864 \cdot 1,53 \cdot 0,5}{0,009} + \frac{4 \cdot 0,864 \cdot 0,25}{0,009}}$$

$$= 26,14 \text{ m}$$

gewählt: a = 20 m

Dränabflussspende : 2 l/(s · ha)

3.3.3 Bemessung der Schluckbrunnen

Berechnungsgrundlagen s.

MAROTZ, G. 1968: Technische Grundlagen einer Wasserspeicherung im natürlichen Untergrund, Schriftenreihe des Kuratoriums für Kulturbauwesen, Heft 18, Verlag Wasser und Boden, Hamburg

$$s = \frac{2\pi \cdot m \cdot k_f \cdot \ddot{u}}{\ln \frac{R}{r}}$$

s = Sickerleistung eines Schluckbrunnens (m³/s)
R = Reichweite der Grundwasseraufhöhung (m)
r = Radius des Schluckbrunnens (m)
m = Mächtigkeit der wasserführenden Schicht, in die infiltriert wird, bei gleicher Filterlänge (m)
ü = Überdruckhöhe über Grundwasser (m)
= 1 m
H = 30 m (abgeleitet aus verschiedenen Bohrprofilen)
k_f = 3,2 · 10⁻⁴ m/s (s. Teil 3, Punkt 1.2.2)
r = 0,20 m (gewählt)
R = 3000 · 1 · $\sqrt{3,2 \cdot 10^{-4}}$
= 53,70 m
s = $\frac{2\pi \cdot 30 \cdot 3,2 \cdot 10^{-4} \cdot \ddot{u}}{\ln \frac{53,70}{0,2}}$
= 0,011 m³/s

Anhang:
Allgemeine Messstellendaten
Lage der GWM

MEST_KBEZ	MEST_RECHTS	HOCH	GOK_NN	MBP_NN	
2	GWM	3474820	5879074	7,55	7,6
3	GWM	3474777	5878975	6,45	6,59
4	GWM	3474779	5878887	6,84	6,89
5	GWM	3474882	5879167	7,72	7,83
7	GWM	3474676	5879207	7,27	7,59
8	GWM	3474783	5879217	7,04	7,04
10	GWM	3474916	5879166	8,01	8,09
11	GWM	3474717	5878979	6,2	6,72
15	GWM	3474722	5878921	6,59	6,65
16	GWM	3474603	5879025	6,8	7,33
17a	GWM	3474701	5879153	6,7	7,24
17b	GWM	3474300	5879000	7,9	8,4
18	GWM	3474406	5879116	7,3	7,81
33b	GWM	3473240	5877900	9,15	9,65
201	GWM	3474980	5879071	7,84	8,29
202	GWM	3474788	5879408	7,39	7,93
203	GWM	3474510	5879642	8,14	8,59
204	GWM	3473251	5880520	21	21,5
205	GWM	3474192	5878817	8,39	8,79
206	GWM	3474365	5878627	8	8,3
207	GWM	3474496	5878475	7,8	9,82
208	GWM	3474141	5878148	9,06	9,51
209	GWM	3472173	5878201	17,45	17,95
210	GWM	3472576	5876921	11,16	11,66
211	GWM	3466729	5878918	25,2	25,67
212	GWM	3471549	5876183	21,14	21,6
213	GWM	3470063	5876934	27,75	28,33
214	GWM	3469406	5875890	30,91	31,37
215	GWM	3471937	5874841	13,48	13,95
216	GWM	3472365	5873448	16,23	16,68
217	GWM	3471158	5878351	18,96	19,49
218	GWM	3468279	5876473	35,85	36,31
219	GWM	3468768	5873895	41,59	42,03
220	GWM	3472276	5876109	12,42	12,92
221	GWM	3470447	5879544	28,02	28,46
223	GWM	3470803	5872641	19,06	19,61
224	GWM	3472888	5879170	15,63	16,01
225	GWM	3472070	5879568	13,4	13,86
226	GWM	3471440	5877673	30,66	31,15
227	GWM	3470676	5876225	35,03	35,53
228	GWM	3470385	5877555	22,07	22,4
229	GWM	3468852	5877693	36,11	36,5
230	GWM	3473995	5876826	11	10,82
231	GWM	3473215	5879785	11,49	11,87
232	GWM	3473215	5879785	11,52	11,92



Anhang
Lage der GWM

Teil 4: Anlagen