

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Veranlassung	1
1.2	Zielsetzung und Vorgehensweise	2
2	Stand der Wissenschaft	5
2.1	Einfluss eines Hochwasserretentionsraums auf den Anteil infiltrierten Flusswassers in den Entnahmebrunnen eines Wasserwerks	5
2.2	Uferfiltrat in Wasserwerken	6
2.3	Auswirkung von Hochwasser auf flussnahes Grundwasser	7
2.4	Auswirkungen von Überflutungen auf die Grundwasserbeschaffenheit	8
2.5	Zusammenfassung des derzeitigen Kenntnisstandes	9
3	Verwendete Modelle zur Berechnung von Strömung und Stofftransport	11
3.1	Grundwasserströmung	11
3.1.1	Grundwasser	11
3.1.2	Das hydraulische Potential	12
3.1.3	Das Gesetz von Darcy	13
3.1.4	Die Kontinuitätsgleichung	14
3.1.5	Die stationäre Strömungsgleichung	15
3.1.6	Die instationäre Strömungsgleichung	16
3.1.7	Tiefenunabhängige Modellierung der ungespannten Grundwasserströmung	17
3.1.8	Randbedingungen und Anfangsbedingung zur Beschreibung der Grundwasserströmung	19
3.2	Stofftransport im Grundwasserleiter	22
3.2.1	Konzentration	22
3.2.2	Advektiver Transport	22
3.2.3	Molekulare Diffusion	23
3.2.4	Dispersion	24
3.2.5	Retardation durch Adsorption und Desorption	25
3.2.6	Prinzip des Massenerhaltes	26
3.2.7	Instationäre Stofftransportgleichung des Grundwassers	27
3.2.8	Anfangsbedingung und Randbedingungen zur Beschreibung des Stofftransports im Grundwasserleiter	28
3.3	Die Finite-Elemente-Methode	30
3.3.1	Diskretisierung des Untersuchungsgebiets	30
3.3.2	Definition der Näherungslösung	31
3.3.3	Erstellung des Gleichungssystems	32
3.3.4	Lösung des Gleichungssystems	33
3.3.5	Zeitliche Diskretisierung instationärer numerischer Grundwassermodelle	34
3.3.6	FEFLOW	35

3.4	Eindimensionale Berechnung stationärer Wasserspiegellagen in einem strömenden Gewässer	38
3.4.1	Die erweiterte Bernoullische Energiegleichung	38
3.4.2	Die allgemeine Fließformel	39
3.4.3	Die empirische Fließformel nach Gauckler-Manning-Strickler	40
3.4.4	Näherungsweise Berechnung der Wasserspiegellage	41
3.5	Rückgekoppelte Verbindung zwischen Grundwassermodell und Fließgewässermodell	43
3.5.1	Konzept der Kopplung	43
3.5.2	Programmiertechnische Umsetzung der Kopplung	46
4	Methode zur Abschätzung der Beeinflussung	49
4.1	Größe und Lage des Einzugsgebiets eines Wasserwerks	49
4.1.1	Einzugsgebiet eines Einzelbrunnens	49
4.1.2	Einzugsgebiet einer Brunnenlinie mit zwei Brunnen	51
4.1.3	Einzugsgebiet einer Brunnenlinie mit mehr als zwei Brunnen	63
4.2	Reichweite von infiltriertem Oberflächenwasser im Aquifer während eines Hochwassers	70
4.2.1	Advektiver Transport	70
4.2.2	Berücksichtigung des dispersiven Transports	73
4.3	Grundwasserströmung zwischen Retentionsraum und Wasserwerk	75
4.3.1	Grundwasserströmung zwischen Fließgewässer und Wasserwerk	75
4.3.2	Aufbau des numerischen Prinzipmodells	76
4.3.3	Berechnete Modellszenarien	84
4.3.4	Infiltration von Flusswasser in den Aquifer über den Retentionsraum	91
4.3.5	Wirkung eines Hochwasserereignisses, wenn der Retentionsraum und das Einzugsgebiet des Wasserwerks räumlich getrennt sind	93
4.3.6	Wirkung eines Hochwasserereignisses, wenn das Einzugsgebiet des Wasserwerks Teile des Retentionsraums beinhaltet	100
4.3.7	Wirkung eines Hochwasserereignisses, wenn das Einzugsgebiet des Wasserwerks sowohl Teile des Retentionsraums als auch einen Abschnitt des Fließgewässers beinhaltet	104
4.3.8	Wirkung eines Abzugsgrabens um den Retentionsraum	108
4.3.9	Wirkung eines zweiten Fließgewässers auf der Zustromseite des Wasserwerks	111
4.3.10	Wirkung der Außerbetriebnahme des Wasserwerks während des Hochwasserereignisses	114
4.3.11	Wirkung von Spundwänden im Deich des Retentionsraums	116
4.3.12	Zusammenfassung der Erkenntnisse zu Strömung und Stofftransport im Grundwasserleiter zwischen Retentionsraum und Wasserwerk	118
4.4	Vorgehensweise zur Einschätzung eines Standorts	121
4.4.1	Geohydrologische Erkundung	121
4.4.2	Abschätzung der maßgeblichen Parameter	123
4.4.3	Einschätzung des Standorts	126

5	Aquifersimulation am Beispiel Kastenwört	129
5.1	Untersuchungsgebiet	130
5.1.1	Geplantes Wasserwerk und geplanter Retentionsraum	130
5.1.2	Klima und Grundwasserneubildung	131
5.1.3	Geologie	132
5.1.4	Hydrogeologischer Aufbau des Untergrundes	132
5.1.5	Böden	133
5.1.6	Oberflächengewässer	134
5.1.7	Grundwasser	134
5.2	Anforderungen an den Aquifersimulator	136
5.2.1	Modellgebiet	136
5.2.2	Räumliche Diskretisierung	137
5.2.3	Modellzeitraum	139
5.2.4	Zeitliche Diskretisierung	139
5.2.5	Konsequenz der Anforderungen	140
5.3	Geeignete Methoden zum Aufbau des Aquifersimulators	141
5.3.1	Einbindung von Fließgewässern	141
5.3.2	Kalibrierung des numerischen Grundwassermodells	144
5.3.3	Markierung des Flusswassers	147
5.3.4	Vorgabe des Retentionsraums	148
5.4	Ergebnis der Aquifersimulation	152
6	Diskussion	155
6.1	Vergleich der Ergebnisse der Ersteinschätzung eines Standorts und des Aquifersimulators	155
6.1.1	Einschätzung zur Größe des Einzugsgebiets des geplanten Wasserwerks	155
6.1.2	Einschätzung zur Reichweite von infiltriertem Flusswasser im Grundwasserleiter während der Flutung des geplanten Retentionsraums	156
6.1.3	Resultierende Einschätzung des Systemverhaltens	157
6.1.4	Vergleich mit dem Ergebnis der Aquifersimulation	157
6.2	Maßnahmen zur Reduzierung des Fließgewässeranteils in den Entnahmefrünnen eines Wasserwerks	160
6.2.1	Minderung der maximalen Einstauhöhe	160
6.2.2	Minderung von Dauer und Häufigkeit bzw. Verzicht nicht zum Hochwasserschutz benötigter Flutungen	161
6.2.3	Optimierte Lage des Retentionsraums und Oberflächenabdichtung	161
6.2.4	Spundwand im Deich des Hochwasserretentionsraums	162
6.2.5	Größere räumliche Entfernung zwischen Wasserwerk und Hochwasserretentionsraum	163
6.2.6	Geringere Entnahmerate des Wasserwerks	163
6.2.7	Abzugsgräben außerhalb des Retentionsraums	164
6.2.8	Abwehrfrünnen zwischen Retentionsraum und Wasserwerk	165

7 Zusammenfassung und Ausblick	167
Literaturverzeichnis	171
Anhang A: Programmcode	183
Anhang B: Simulierte Fließgewässeranteile	195