

**Institut für Hydrologie**  
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau

# **Risikoabschätzung zum Pestizidtransport unter Holznasslager**

Talida Huwer-Olinger

Diplomarbeit unter der Leitung von Prof. Dr. M. Weiler

Freiburg im Breisgau, im Juni 2010



**Institut für Hydrologie**  
der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Breisgau

Talida Huwer-Olinger

# **Risikoabschätzung zum Pestizidtransport unter Holznasslager**

Referent: Prof. Dr. M. Weiler  
Koreferentin: Dipl. ing. Ch. Stiller-Ludwig

Diplomarbeit unter der Leitung von Prof. Dr. M. Weiler

Freiburg im Breisgau, im Juni 2010



# Danksagung

Diese Diplomarbeit ist das Ende eines langen Weges, den ich nicht alleine gegangen bin. Daher möchte ich mich an dieser Stelle bei jenen bedanken, die mich begleitet und unterstützt haben.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinem Mann Markus, für seine Geduld und stetige Unterstützung über die vielen Jahre hinweg. Dies gilt besonders für die Anfertigungszeit dieser Arbeit. Auch meiner Tochter Nele möchte ich an dieser Stelle für die viele Zeit danken, in der sie ohne murren auf ihre Mama verzichtete.

Im Bezug auf die Anfertigung dieser Arbeit möchte ich mich ebenfalls gerne bei meinen Unterstützern bedanken:

Meinem Betreuer Prof. Dr. M. Weiler für die Bereitstellung dieses interessanten Themas, sowie für die Betreuung während der Bearbeitung.

Dipl. ing. Christa Stiller-Ludwig für die Übernahme des Koreferats und die Unterstützung in Hagen, sowie für die Betreuung während der Bearbeitung.

Dr. Christoph Külls für die vielen konstruktiven und inhaltlich sehr ergiebigen Gespräche zur Modellierung.

Der Firma Stora Enso für die Bereitstellung des umfangreichen Datenmaterials.

Auch möchte ich mich bei allen Freunden bedanken, die mir in dieser Zeit bei der Kinderbetreuung geholfen, und mich auch sonst nicht vergessen haben. Weil es nun einmal nicht möglich ist jeden Namen an die erste Stelle zu schreiben, müssen sie leider hintereinander stehen: Steffi, Alice, Annabelle, Karin, Timo



# I. Inhaltsverzeichnis

|              |   |             |
|--------------|---|-------------|
| <b>I.</b>    | <b>Inhaltsverzeichnis</b>                       | <b>I</b>    |
| <b>II.</b>   | <b>Abbildungsverzeichnis</b>                    | <b>III</b>  |
| <b>III.</b>  | <b>Tabellenverzeichnis</b>                      | <b>VI</b>   |
| <b>IV.</b>   | <b>Abbildungen im Anhang</b>                    | <b>VII</b>  |
| <b>V.</b>    | <b>Tabellen im Anhang</b>                       | <b>IX</b>   |
| <b>VI.</b>   | <b>Symbole und Abkürzungen</b>                  | <b>XI</b>   |
| <b>VII.</b>  | <b>Zusammenfassung</b>                          | <b>XIII</b> |
| <b>VIII.</b> | <b>English Summary</b>                          | <b>XV</b>   |
| <br>         |   |             |
| <b>1.</b>    | <b>Einleitung</b>                               | <b>1</b>    |
| 1.1          | Motivation                                      | 1           |
| 1.2          | Problemstellung und Zielsetzung                 | 2           |
| <br>         |   |             |
| <b>2.</b>    | <b>Stand der Forschung</b>                      | <b>3</b>    |
| 2.1          | Atrazin   | 3           |
| 2.2          | Holznasslagerung                                | 5           |
| <br>         |   |             |
| <b>3.</b>    | <b>Das Untersuchungsgelände</b>                 | <b>7</b>    |
| 3.1          | Allgemeine Beschreibung                         | 7           |
| 3.2          | Geologie  | 9           |
| 3.3          | Hydrologie                                      | 13          |
| 3.5          | Historischer Abriss                             | 13          |
| <br>         |   |             |
| <b>4.</b>    | <b>Datenlage</b>                                | <b>17</b>   |
| 4.1          | Monitoring in 2007                              | 17          |
| 4.1.1        | Messpunkte                                      | 17          |
| 4.1.2        | Parameter und Stoffe                            | 19          |
| 4.1.3        | Beprobungspläne                                 | 19          |
| 4.2          | Hydrologie                                      | 19          |
| 4.2.1        | Klimadaten                                      | 19          |
| 4.2.2        | Seepegelstände und Tiefenlinien                 | 20          |
| 4.3          | Einlagerung                                     | 20          |
| 4.3.1        | Einlagerungsverlauf                             | 20          |
| 4.3.2        | Wasserbedarf                                    | 23          |
| <br>         |   |             |
| <b>5.</b>    | <b>Methodik</b>                                 | <b>25</b>   |
| 5.1          | Abschätzung der Sickerwassermengen              | 25          |
| 5.1.1        | Einlagerungsverlauf und Berechnungswassermengen | 25          |
| 5.1.2        | Benetzungsverluste                              | 27          |
| 5.1.3        | Verdunstung                                     | 29          |
| 5.2          | Gradientenermittlung                            | 33          |
| 5.2.1        | Pegelstände von Grundwasser und See             | 33          |
| 5.2.2        | Transsekten                                     | 34          |
| 5.3          | Atrazinausträge                                 | 35          |
| 5.4          | Grundwassermodellierung mit Visual MODFLOW      | 36          |
| 5.4.1        | Modelleinstellungen                             | 37          |
| 5.4.2        | Parameter für stationäre Bedingungen            | 38          |
| 5.4.3        | Parameter für instationäre Bedingungen          | 39          |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| <b>6.</b> | <b>Ergebnisse und Diskussion</b>           | <b>40</b> |
| 6.1       | Wasserbilanz des Holznasslagers            | 40        |
| 6.1.1     | Benetzungsverluste                         | 40        |
| 6.1.2     | Beregnungswassermengen                     | 40        |
| 6.1.3     | Sickerwassermengen                         | 41        |
| 6.1.4     | Diskussion                                 | 42        |
| 6.2       | Gradientenermittlung                       | 43        |
| 6.2.1     | Pegelstände von Grundwasser und See        | 43        |
| 6.2.2     | Transsekten                                | 50        |
| 6.2.3     | Diskussion                                 | 52        |
| 6.3       | Atrazinausträge                            | 54        |
| 6.3.1     | Parameterverläufe                          | 54        |
| 6.3.2     | Eintragswege und Konzentrationen           | 57        |
| 6.3.3     | Diskussion                                 | 60        |
| 6.4       | Fehlerbetrachtung                          | 60        |
| 6.5       | Grundwassermodellierung mit Visual MODFLOW | 61        |
| 6.5.1     | Stationäre Bedingungen                     | 61        |
| 6.5.2     | Instationäre Bedingungen                   | 65        |
| 6.5.3     | Diskussion                                 | 68        |
| <b>7.</b> | <b>Schlussfolgerungen</b>                  | <b>70</b> |
| <b>8.</b> | <b>Literatur</b>                           | <b>73</b> |
| <b>9.</b> | <b>Anhang</b>                              | <b>78</b> |
| A         | Anhang zum Untersuchungsgelände            | 78        |
| B         | Anhang zur Datenlage                       | 80        |
| C         | Anhang zur Methodik                        | 85        |
| D         | Anhang zu Ergebnisse und Diskussion        | 100       |



## II. Abbildungsverzeichnis

|                         |   |           |
|-------------------------|---|-----------|
| <b>Abbildung 3.1.1:</b> | Verlauf der Ruhr und Lager des Holznasslagerplatzes. Lagekarte zur räumlichen Orientierung (verändert nach WIKIPEDIA, 2010)   | <b>7</b>  |
| <b>Abbildung 3.1.2:</b> | Übersichtskarte zur Umgebung (verändert nach AGL, 2009).  | <b>8</b>  |
| <b>Abbildung 3.1.3:</b> | Lageplan des Holznasslagers auf dem Gelände des ehem. Rangierbahnhofs Hagen-Hengstey (verändert nach STORA ENSO, 2009).   | <b>9</b>  |
| <b>Abbildung 3.2.1:</b> | Geologische Karte der Region um den Hengsteysee (verändert nach AGL, 2009).   | <b>10</b> |
| <b>Abbildung 3.2.2:</b> | Übersicht zur Lage aller bekannten Untergrundprofile (verändert nach DILLO et al., 1991 und FLUHME, 2007).  | <b>11</b> |
| <b>Abbildung 3.2.3:</b> | Bekannter Verlauf des Randkanals mit seinen Zuläufen. Weitere Zuläufe werden im Untergrund vermutet (verändert nach UMWELTAMT, 2009 und AGL, 2009).   | <b>12</b> |
| <b>Abbildung 3.4.1:</b> | Historischer Verlauf der Ruhr mit Standorten des Hagener Wasserwerks und des Rangierbahnhofs. Zusammengesetzte Karte: oberer Teil von 1921, unterer Teil von 1913 (verändert nach AGL, 2009). | <b>14</b> |
| <b>Abbildung 3.4.2:</b> | Lage des neuen Hengsteysees von 1935 (verändert nach AGL, 2009).  | <b>15</b> |
| <b>Abbildung 3.4.3:</b> | Heutiger Verlauf der Ruhr (verändert nach AGL, 2009).   | <b>16</b> |
| <b>Abbildung 4.1.1:</b> | Nicht maßstabsgetreue Übersichtsskizze zur Lage der Messpunkte (verändert nach STORA ENSO, 2009).   | <b>17</b> |
| <b>Abbildung 4.1.2:</b> | Bohrergebnis und Aufbau des Brunnens der GWM 1 (verändert nach STORA ENSO, 2009)  | <b>18</b> |
| <b>Abbildung 4.2.1:</b> | Lufttemperatur und tägliche Niederschlagswerte der Station Hagen-Fley.  | <b>20</b> |
| <b>Abbildung 4.3.1:</b> | Luftbild eines Teils des Lagerplatzes. Deutlich zu erkennen ist die Lage der Polter (STORA ENSO, 2009).   | <b>21</b> |
| <b>Abbildung 4.3.2:</b> | Nichtmaßstabsgetreue Übersichtsskizze zum Stand des Einlagerungsverlaufs am Stichtag 27.08.2007 (verändert nach STORA ENSO, 2009).  | <b>22</b> |
| <b>Abbildung 4.3.3:</b> | Luftbild des gefüllten Holznasslagers (STORA ENSO, 2009).   | <b>23</b> |
| <b>Abbildung 4.3.4:</b> | Linke Seite: Seepumpe in der Randlage des Hengsteysees. Rechte Seite: Sektorenregner in einem Fahr und Verladestreifen (STORA ENSO, 2009).  | <b>23</b> |

|                         |   |           |
|-------------------------|---|-----------|
| <b>Abbildung 4.3.5:</b> | Tagessumme der Wasserentnahme aus dem Hengsteysee (STORA ENSO, 2009).   | <b>24</b> |
| <b>Abbildung 5.1.1:</b> | Vergrößerung eines Luftbildausschnittes. Die einzelnen Polter sowie deren Ausdehnung sind gut zu Unterscheiden (verändert nach STORA ENSO, 2009).                                     | <b>26</b> |
| <b>Abbildung 5.1.2:</b> | Luftbildaufnahmen und Grundkarte des Geländes. Als markante Punkte eingetragen sind Hochspannungsmasten, sowie eine Radweg- und Bahnliniengabelung (verändert nach STORA ENSO, 2009). | <b>27</b> |
| <b>Abbildung 5.1.3:</b> | Versuchsanordnung des Laborversuchs zum Benetzungsverlust.  | <b>28</b> |
| <b>Abbildung 5.1.4:</b> | Schematische Darstellung eines Polters. Die verdunstungs-wirksame Oberfläche ist rot markiert.  | <b>31</b> |
| <b>Abbildung 5.2.1:</b> | Verlauf der stündlichen Pegelwerte des Hengsteysees im Beobachtungszeitraum.  | <b>33</b> |
| <b>Abbildung 5.2.2:</b> | Lage der Transsekten auf dem Gelände (Grundkarte aus STORA ENSO, 2009).   | <b>34</b> |
| <b>Abbildung 5.2.3:</b> | Darstellung der Transsekte 1 und des Tagespegels am 18.10.2007.   | <b>34</b> |
| <b>Abbildung 5.3.1:</b> | Verlauf der Atrazinwerte in den betroffenen GWM.  | <b>35</b> |
| <b>Abbildung 5.4.1:</b> | Modellgebiet mit Raster und Grenzbedingungen.   | <b>37</b> |
| <b>Abbildung 6.1.1:</b> | Verlauf der Beregnungswassermengen im Beobachtungszeitraum.   | <b>41</b> |
| <b>Abbildung 6.1.2:</b> | Verlauf der Beregnungswassermengen im Beobachtungszeitraum.   | <b>41</b> |
| <b>Abbildung 6.1.3:</b> | Verlauf der Sickerwassermengen für eine bereits zuvor überlagerte Fläche.   | <b>42</b> |
| <b>Abbildung 6.2.1:</b> | Verlauf des Tagespegels mit Angabe des mittleren Pegelniveaus für NBA 1 und NBA 2.  | <b>43</b> |
| <b>Abbildung 6.2.2:</b> | Schwankungsbereiche der Pegel eines Tages im NBA 1.   | <b>44</b> |
| <b>Abbildung 6.2.3:</b> | Schwankungsbereiche der Pegel eines Tages im NBA 2.   | <b>44</b> |
| <b>Abbildung 6.2.4:</b> | Übersicht aller beobachteten Werte der GWM mit dem Verlauf des Tagespegels im NBA 1.  | <b>45</b> |
| <b>Abbildung 6.2.5:</b> | Übersicht aller beobachteten Werte der GWM mit dem Verlauf des Tagespegels im NBA 2.  | <b>46</b> |
| <b>Abbildung 6.2.6:</b> | Übersichtsdarstellung der beobachteten Werte der GWM 1 bis GWM 5.   | <b>46</b> |
| <b>Abbildung 6.2.7:</b> | GWM 3, GWM 6, GWM 8 und der Tagespegel.   | <b>47</b> |
| <b>Abbildung 6.2.8:</b> | GWM 1 -2, GWM 4 - 5, GWM 7 und der Tagespegel.  | <b>48</b> |

|                          |  |           |
|--------------------------|--|-----------|
| <b>Abbildung 6.2.9:</b>  | Auftrag der GWM 1, GWM 2 und GWM 4 zusammen mit den SW.  | <b>48</b> |
| <b>Abbildung 6.2.10:</b> | Verlauf von GWM 4 und den SW, sowie deren gleitende Mittel.  | <b>49</b> |
| <b>Abbildung 6.2.11:</b> | Verlauf von GWM 3 und den SW, sowie die gleitenden Mittel von GWM 3 und SW.                              | <b>49</b> |
| <b>Abbildung 6.2.12:</b> | Alle Transsekten vom 19.07.2007.   | <b>51</b> |
| <b>Abbildung 6.2.13:</b> | Alle Transsekten vom 18.10.2007.   | <b>51</b> |
| <b>Abbildung 6.2.14:</b> | Verlauf der GWM 4, GWM 5 und GWM 6 mit deren gleitenden Mittel.  | <b>53</b> |
| <b>Abbildung 6.3.1:</b>  | Verlauf des pH-Wertes und des Atrazin in der GWM 4.  | <b>54</b> |
| <b>Abbildung 6.3.2:</b>  | Verlauf der Trübung und des Atrazin in GWM 4.  | <b>55</b> |
| <b>Abbildung 6.3.3:</b>  | Verlauf der Leitfähigkeit und des Atrazin in GWM 4.  | <b>55</b> |
| <b>Abbildung 6.3.4:</b>  | Verlauf der Wassertemperatur und des Atrazin in GWM 4.   | <b>56</b> |
| <b>Abbildung 6.3.5:</b>  | Verlauf von TOC, DOC- und des Atrazin in der GWM 4.  | <b>56</b> |
| <b>Abbildung 6.3.6:</b>  | Verlauf des Atrazin und der Pegelwerte der GWM 4 mit Tagespegel.   | <b>57</b> |
| <b>Abbildung 6.5.1:</b>  | Darstellung der Grundwasserhöhen im NBA 1 unter stationären Bedingungen für den vierten Simulationslauf. | <b>63</b> |
| <b>Abbildung 6.5.2:</b>  | Darstellung der Grundwasserhöhen im NBA 2 unter stationären Bedingungen für den vierten Simulationslauf. | <b>63</b> |
| <b>Abbildung 6.5.3:</b>  | Darstellung der Grundwasserhöhen am Ende der Stressperiode 1 für den Simulationslauf instat 3.           | <b>66</b> |
| <b>Abbildung 6.5.4:</b>  | Darstellung der Grundwasserhöhen am Ende der Stressperiode 2 für den Simulationslauf instat 3.           | <b>66</b> |
| <b>Abbildung 6.5.5:</b>  | Darstellung der Grundwasserhöhen am Ende der Stressperiode 2 für den Simulationslauf instat 4.           | <b>67</b> |
| <b>Abbildung 6.5.6:</b>  | Darstellung der Grundwasserhöhen am Ende der Stressperiode 2 für den Simulationslauf instat 5.           | <b>68</b> |

### III. Tabellenverzeichnis

|                       |  |           |
|-----------------------|--|-----------|
| <b>Tabelle 5.1.1:</b> | Übersicht zu den Eigenschaften der Rindenstücke.   | <b>28</b> |
| <b>Tabelle 5.1.2:</b> | Berechnung des Flächenfaktors.   | <b>32</b> |
| <b>Tabelle 5.1.3:</b> | Berechnung der Verdunstung auf dem Randstreifen und, mit vergrößerter Fläche, auf dem Holznasslager. | <b>32</b> |
| <b>Tabelle 5.4.1:</b> | Parameter erste Einstellung für NBA 1.   | <b>38</b> |
| <b>Tabelle 5.4.2:</b> | Parameter erste Einstellung NBA 2.   | <b>39</b> |
| <b>Tabelle 5.4.3:</b> | Höhen in den GWM für NBA 1 und NBA 2 im stationären Fall.  | <b>39</b> |
| <b>Tabelle 6.3.1:</b> | Berechnung der Verdünnung.   | <b>58</b> |

## IV. Abbildungen im Anhang

|                             |   |            |
|-----------------------------|---|------------|
| <b>Abbildung A.1:</b>       | Uferbefestigung des Südufers des Hengsteysees. Linke Seite: Uferstreifen mit Seepumpe in 2007 (STORA ENSO, 2009). Rechte Seite: Ufer im Dezember 2009 an ähnlicher Stelle wie Bild links. | <b>78</b>  |
| <b>Abbildung A.2:</b>       | Junger Birkenwald vor der Rodung auf dem Untersuchungsgelände (STORA ENSO, 2009).   | <b>78</b>  |
| <b>Abbildung A.3:</b>       | Untersuchungsgelände zum Ende der Rodungs- und Vorbereitungsarbeiten. Im Vordergrund ist der wieder zutagetretende Schotter erkennbar (STORA ENSO, 2009).                                 | <b>79</b>  |
| <b>Abbildung A.4:</b>       | Auf dem Untersuchungsgelände im Dezember 2009. Linke Seite: Spärliche Vegetation auf dem geräumten Holznasslagerplatz. Rechte Seite: Freiliegender Schotter im Randbereich.               | <b>79</b>  |
| <b>Abbildung Labv. A1:</b>  | Material des Laborversuchs.   | <b>85</b>  |
| <b>Abbildung Labv. A2:</b>  | Beispielbilder zum Einspannwinkel der Rindenstücke. Links: flacher Winkel. Rechts: steiler Winkel.  | <b>87</b>  |
| <b>Abbildung Labv. A3:</b>  | Kontaktfläche des Klemmstücks auf der Rinde.  | <b>87</b>  |
| <b>Abbildung Konz. 1:</b>   | Übersichtskarte zum Lagerplatz (verändert nach AGL, 2009).  | <b>91</b>  |
| <b>Abbildung Konz. 2:</b>   | Lage und Bezeichnung der Bohrungen (verändert nach STORA ENSO, 2009, FLUHME, 2007 und DILLO, 1991).   | <b>93</b>  |
| <b>Abbildung Konz. 3:</b>   | Übersicht zu den Rahmenbedingungen des Konzeptmodells (verändert nach STORA ENSO, 2009).  | <b>95</b>  |
| <b>Abbildung MF stat 1:</b> | Modellierung der Grenzbedingungen.  | <b>96</b>  |
| <b>Abbildung D. 1:</b>      | Verlauf von SW und GWM 1, sowie deren gleitende Mittel.   | <b>107</b> |
| <b>Abbildung D. 2:</b>      | Verlauf von SW und GWM 2, sowie deren gleitende Mittel.   | <b>108</b> |
| <b>Abbildung D. 3:</b>      | Verlauf von SW und GWM 3, sowie deren gleitende Mittel.   | <b>108</b> |
| <b>Abbildung D. 4:</b>      | Verlauf von SW und GWM 4, sowie deren gleitende Mittel.   | <b>109</b> |
| <b>Abbildung D. 5:</b>      | Verlauf von SW und GWM 5, sowie deren gleitende Mittel.   | <b>109</b> |
| <b>Abbildung D. 6:</b>      | Verlauf von SW und GWM 6, sowie deren gleitende Mittel.   | <b>110</b> |
| <b>Abbildung D. 7:</b>      | Verlauf von SW und GWM 7, sowie deren gleitende Mittel.   | <b>110</b> |

|                        |  |            |
|------------------------|--|------------|
| <b>Abbildung D. 8:</b> | Verlauf von SW und GWM 8, sowie deren gleitende Mittel.  | <b>111</b> |
| <b>Abbildung D. 9:</b> | Darstellung der Grundwasserhöhen bei einem vollkommen gespannten Aquifer in Ly 3 und einer auf 52 mm/d erhöhten GWNB auf der berechneten Fläche. | <b>115</b> |

## V. Tabellen im Anhang

|                             |  |            |
|-----------------------------|--|------------|
| <b>Tabelle B.1:</b>         | Liste der Parameter und Stoffe des Monotoringplans (STORA ENSO, 2009).   | <b>80</b>  |
| <b>Tabelle B.2:</b>         | Beprobungsplan 1, erste Beprobung am 15.06.2007, letzte Beprobung am 27.09.2007 (STORA ENSO, 2009).                  | <b>82</b>  |
| <b>Tabelle B.3:</b>         | Beprobungsplan 2, gültig ab KW 42. Erste Beprobung am 18.10.2007, letzte Beprobung am 13.12.2007 (STORA ENSO, 2009). | <b>83</b>  |
| <b>Tabelle B.4:</b>         | Auszug aus dem Betriebstagebuch zum Holznasslager Hengstey (STORA ENSO, 2009).                                       | <b>83</b>  |
| <b>Tabelle Labv. 1:</b>     | Protokolltabelle der Messergebnisse des Laborversuchs.   | <b>86</b>  |
| <b>Tabelle Labv. 2:</b>     | Auswertung der Messergebnisse.   | <b>88</b>  |
| <b>Tabelle C. 1:</b>        | Beaufort-Skala-1 mit Wertebereich der Windgeschwindigkeit (DWD, 2009).   | <b>88</b>  |
| <b>Tabelle C. 2:</b>        | Beaufort-Skala-2 mit Wertebereich der Windgeschwindigkeit (DWD, 2009).   | <b>89</b>  |
| <b>Tabelle C. 3:</b>        | Verdunstungswerte für alle Tage mit nicht eindeutiger Zuordnung.   | <b>90</b>  |
| <b>Tabelle C. 4:</b>        | Mittelwerte der Verdunstung für die fünf kritischen Tage.  | <b>90</b>  |
| <b>Tabelle Konz. 1:</b>     | Mächtigkeit der angetroffenen Schichten.   | <b>93</b>  |
| <b>Tabelle Konz. 2:</b>     | Errechnete Richtwerte aus den Daten der Pumpversuche auf dem Holznasslagerplatz.                                     | <b>94</b>  |
| <b>Tabelle MF instat 1:</b> | Stressperiode 1 und 2.   | <b>98</b>  |
| <b>Tabelle D. 1:</b>        | Chronologischer Einlagerungsverlauf mit Angabe des Flächenzuwachses.   | <b>100</b> |
| <b>Tabelle D. 2:</b>        | Tageswerte der Beregnungswassermengen.   | <b>102</b> |
| <b>Tabelle D. 3:</b>        | Verdunstungshöhen.   | <b>104</b> |
| <b>Tabelle D. 4:</b>        | Grundlagewerte für die Transsekten (GWM nach STORA ENSO, 2009).  | <b>111</b> |
| <b>Tabelle D. 5:</b>        | Atrazinwerte aller GWM (nach STORA ENSO, 2009).  | <b>112</b> |
| <b>Tabelle D. 6:</b>        | TOC Werte aller GWM und des BW (nach STORA ENSO, 2009).  | <b>112</b> |
| <b>Tabelle D. 7:</b>        | DOC Werte aller GWM und des BW (nach STORA ENSO, 2009).  | <b>113</b> |
| <b>Tabelle D. 8:</b>        | pH-Werte aller GWM und des BW (nach STORA ENSO, 2009).   | <b>113</b> |
| <b>Tabelle D. 9:</b>        | Trübungswerte aller GWM und des BW (nach STORA ENSO, 2009).  | <b>114</b> |
| <b>Tabelle D. 10:</b>       | Leitfähigkeitswerte aller GWM und des BW (nach STORA ENSO, 2009).  | <b>114</b> |

## **Tabellen im Anhang**

---

|                       |   |            |
|-----------------------|---|------------|
| <b>Tabelle D. 11:</b> | Wassertemperatur aller GWM und des BW (nach STORA ENSO, 2009).  | <b>115</b> |
| <b>Tabelle D. 12:</b> | Berechnung der möglichen Durchflussmengen des Ufers und des Untersuchungsgeländes mit einem Vergleich mit den SW. | <b>116</b> |



## V. Symbole und Abkürzungen

|                         |   |                     |
|-------------------------|---|---------------------|
| <b>A</b>                | Fläche  | [m <sup>2</sup> ]   |
| <b>B</b>                | Berechnungswassermenge  | [mm]                |
| <b>BAB</b>              | Bundesautobahn  |                     |
| <b>BFT</b>              | Beaufort  | [BFT]               |
| <b>D</b>                | Durchmesser   | [m]                 |
| <b>DOC</b>              | Dissolved Organic Carbon  | [mg/l]              |
| <b>DWD</b>              | Deutscher Wetterdienst  |                     |
| <b>E</b>                | Sättigungsdampfdruck  | [hPa]               |
| <b>e</b>                | Dampfdruck  | [hPa]               |
| <b>ED</b>               | Extinktionstiefe  | [m]                 |
| <b>Eff. Por.</b>        | effektives Porenvolumen   |                     |
| <b>ET<sub>pot</sub></b> | potenzielle Evapotranspiration  | [mm/d]              |
| <b>EVT</b>              | Evapotranspiration  | [mm/yr]             |
| <b>F</b>                | variabler Proportionalitätsfaktor, abhängig von der Windgeschwindigkeit |                     |
| <b>Ff</b>               | Flächenfaktor   |                     |
| <b>f</b>                | relative Luftfeuchte  | [%]                 |
| <b>GHB</b>              | General Head Boundaries   |                     |
| <b>GOK</b>              | Geländeoberkante  |                     |
| <b>GW</b>               | Grundwasser   |                     |
| <b>GWM</b>              | Grundwassermessstelle   |                     |
| <b>GWNB</b>             | Grundwasserneubildungsrate  | [mm/yr]             |
| <b>h</b>                | Polterhöhe  | [m]                 |
| <b>I</b>                | Gefälle   |                     |
| <b>kf</b>               | Durchlässigkeitsbeiwert   | [m/s]               |
| <b>L</b>                | Polterlänge   | [m]                 |
| <b>Lf</b>               | Leitfähigkeit   | [μS/cm]             |
| <b>Ly</b>               | Layer (Schicht)   |                     |
| <b>MNQ</b>              | mittlerer Niedrigwasserabfluss  | [m <sup>3</sup> /s] |
| <b>MQ</b>               | mittlerer Abfluss   | [m <sup>3</sup> /s] |
| <b>N</b>                | Niederschlag  | [mm]                |
| <b>NBA 1</b>            | Niveau im Beobachtungsabschnitt 1 ohne PSKW Betrieb                     |                     |

## Symbole und Abkürzungen

---

|                         |  |         |
|-------------------------|--|---------|
| <b>NBA 2</b>            | Niveau im Beobachtungsabschnitt 2 mit PSKW Betrieb                 |         |
| <b>OR</b>               | Oberflächenrückhalt  | [mm]    |
| <b>PAK</b>              | polycyklische aromatische Kohlenwasserstoffe                       | [µg/l]  |
| <b>PBSM</b>             | Pflanzenbehandlungs- und schutzmittel                              | [µg/l]  |
| <b>PSKW</b>             | Pumpspeicherkraftwerk  |         |
| <b>Q</b>                | Durchfluss   | [m³/s]  |
| <b>RCH</b>              | Recharge (Grundwasserneubildung)                                   | [mm/yr] |
| <b>r</b>                | Radius   | [m]     |
| <b>Ss</b>               | spezifischer Speicherkoeffizient                                   |         |
| <b>SW</b>               | Sickerwassermenge  | [mm]    |
| <b>SW<sub>Alt</sub></b> | Sickerwassermenge auf einer bereits zuvor überlagerten Fläche      | [mm]    |
| <b>SW<sub>Neu</sub></b> | Sickerwassermenge auf einer neu überlagerten Fläche                | [mm]    |
| <b>Sy</b>               | Speicherkoeffizient (Angabe hier nur für ungespannte Verhältnisse) |         |
| <b>T</b>                | Transsekte   |         |
| <b>t</b>                | Lufttemperatur   | [°C]    |
| <b>TOC</b>              | Total Organic Carbon   | [mg/l]  |
| <b>Tot. Por.</b>        | totales Porenvolumen   |         |
| <b>U</b>                | Halbkreisumfang  | [m]     |
| <b>u</b>                | Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe                                    | [m/s]   |
| <b>V</b>                | Verdunstung  | [mm/d]  |
| <b>x</b>                | monatlich wechselnde Korrektur-Konstante                           |         |

## VII. Zusammenfassung

Nach dem Orkan Kyrill 2007 trat ein Interessenskonflikt zwischen der Rohstofferhaltung und dem Trinkwasserschutz auf. Es waren enorme Mengen Sturmholz angefallen. Eine sofortige Verarbeitung oder ein weiter Verkauf waren nicht möglich. So galt es, dieses Holz schnellstmöglich in Holznasslagern zu konservieren. Das größte Holznasslager, mit einem Volumen von 100.000 Festmetern, wurde auf dem Gelände eines ehemaligen Rangierbahnhofs, am Ufer des Hengsteysees, eingerichtet. Dieses Gelände galt als potenziell mit Schadstoffen belastet. Aus dem Hengsteysee wird Wasser zur Trinkwassergewinnung über Grundwasseranreicherung entnommen.

In der Folge wurde ein erhöhter Schadstoffeintrag in den See, oder das Grundwasser, durch erhöhte Sickerwassermengen auf dem Holznasslagerplatz befürchtet. Eine Genehmigung zur Einlagerung in das Holznasslager wurde daher nur unter der Auflage eines aufwändigen Überwachungsprogramms erteilt. Dieses sollte der Frühwarnung dienen, und umfasste 12 Messstellen, darunter 8 Grundwasserbrunnen. Diese wurden regelmäßig auf zahlreiche Stoffe und Parameter untersucht. Besonderes Augenmerk lag hierbei auf dem Pestizid Atrazin.

In einer ersten Betrachtung der beobachteten Werte zeigten sich nur vereinzelt Überschreitungen des Geringfügigkeitsschwellenwertes für Atrazin. Diese Arbeit befasste sich daher nicht mit den Stoffkonzentrationen, sondern mit den unklaren Strömungsverhältnissen im Untergrund, sowie deren Einfluss auf den Transport von Atrazin. Zum besseren Verständnis der Strömungsverhältnisse, wurden die Gradienten an den Beobachtungstagen ermittelt, und die Pegelstände von Grundwasser und See untersucht. Weiteren Aufschluss zu den Eigenschaften des Untergrundes gab eine Modellierung mit dem Grundwassermodellierungsprogramm MODFLOW.

Eine Betrachtung möglicher Mobilisierungseffekte, durch die stoffliche Veränderung des Sickerwassers, wurde für die wichtigsten Parameter und Stoffe durchgeführt. Dabei konnten keine Abhängigkeiten zu den untersuchten Werten festgestellt werden. Aus der zeitlichen Verteilung der Atrazinnachweise in den Grundwassermessstellen ergaben sich weitere Hinweise auf das Verhalten des Atrazin im Untergrund.

Die Ergebnisse zu den Strömungsverhältnissen zeigten weitestgehend influente Bedingungen vom Hengsteysee in den Grundwasserkörper des ehemaligen Rangierbahnhofs. Eine Ausnahme stellte hier die Grundwassermessstelle 3 dar. Diese lag fast stetig über dem Niveau des Seepegels. Der Grundwasserabfluss erfolgte in südwestlicher Richtung. Dabei konnte ein ausreichendes Abflussvolumen, unter den bekannten Bedingungen des Untergrundes, in der Simulation mit MODFLOW nicht erreicht werden. Mit Blick auf die Historie des Geländes wurde hier auf das mögliche Vorhandensein unbekannter Drainagen im Untergrund geschlossen.

Aus diesen Ergebnissen konnten verschiedene Risiken zu den Eintragswegen des Atrazin in das Trinkwasser abgeschätzt werden.

Ein Risiko der Kontamination über das Wasser des Hengsteysees konnte hierbei nahezu ausgeschlossen werden. Dass sich ein Risiko durch den Grundwassertransport zu den Trinkwasserbrunnen ergeben könnte, wurde ebenfalls nahezu ausgeschlossen. In dieser Hinsicht könnte das größte Gefahrenpotential von unbekannten Drainagen ausgehen. Einer

Risikoabschätzung für diesen Fall müsste eine Abklärung zum Verlauf der Drainage vorausgehen.

**Schlagworte:**

Atrazin, Holznasslager, Beregnungswasser, Risikoabschätzung, MODFLOW

## VIII. English Summary

After the hurricane Kyrill in the year 2007 there were many conflicts of interests in regard to the resource reservation and the drinking water protection. After the hurricane there was a large amount of timber which needed an immediate fabrication which was not possible at this time. The selling of such an amount of timber was not possible as well. Due to these facts it was necessary to protect the timber in wet wood yards. The largest of such wet wood yards were established on the bank of the lake Hengstey, on the ground of an old, unused railroad shunting yard. The total capacity of timber on this area was 100.000 solid cubic meters. The ground of the old railroad shunting yard was potential contaminated with harmful substances. The lake Hengstey is used for the extraction of drinking water out of ground water accumulation.

Due to the wet storage procedure of the timber the environment government was afraid that a higher amount of harmful substances could be contaminate the lake as well as the ground water in this area. The authorisation to use the area as a wet wood yard was only permitted with a lot of sanctions. These sanctions should work as a rapid alerting system with 12 measurement points. Eight of these points were ground water observation wells. All of the measurement points were regularly checked for harmful substances and parameters. The most important attention was given to Atrazine, which is a pesticide.

On the first view of the observed data, the values of the measured data shows only light exceedances in the marginal value for Atrazine in some views. Due to this fact the attention of this degree dissertation is the unclear streaming direction of the underground and its impact to the transport of Atrazine. The concentration of Atrazin was not pointed out. For a better understanding of the streaming direction the gradients on the days of observation were determined and the level of the lake and ground water was surveyed. For more detailed information about the condition of the underground the MODFLOW Programme for Modelling were used.

To consider the mobilisation effects due to effects of elements of the leaking water, the most important parameters were checked. No interconnections of the parameters were found during the analysis. Due to the timely allocation of the detection of Atrazine, more details to the characteristic of Atrazine within the underground were found.

The results of the streaming directions showed most of the time influent terms from the lake Hengstey into the ground water of the old railroad shunting yard. The only exception was observed at the ground water observation well No. 3. On this well the level of ground water was most of the time above the level of the lake. The drainage of the ground water was in a south-west direction. Due to the condition of the underground the discharge capacity was always lower and could not been simulated by using the MODFLOW Programme. Together with the historical view of the wet wood yard area there could be a possibility of another, not known source of draining.

Due to the results of this degree dissertation a risk evaluation for the entry ways of the Atrazin into the drinking water loop could be made. The risk of the contamination of the lake Hengstey as well as of the ground water wells could be almost debarred.

The most potential risk could come from unknown sources of drainage at the wet wood yard area. To finally confirm this risk evaluation the unknown drain sources shall be clarified.

**Keywords:**

Atrazine, wet wood yard, sprinkling water, risk evaluation, MODFLOW

# 1. Einleitung

## 1.1 Motivation

Nach starken Sturmereignissen fallen immer wieder große Mengen Sturmholz in den Wäldern an. Dieses ungeplante Holzaufkommen, in zumeist enormen Mengen, kann in der Regel nicht sofort verarbeitet oder zu wirtschaftlichen Preisen vermarktet werden. Um einem Verlust dieser Hölzer entgegenzuwirken muss es unter bestimmten Bedingungen gelagert werden. Diesen Zweck erfüllt die Holznasslagerung. Bei dieser Art der Lagerung werden die Stämme durch Beregnung ständig feucht und kühl gehalten. Bei sachgerechtem Betrieb kann Holz auf diese Weise sogar mehrere Jahre ohne Qualitätsverlust gelagert werden (ODENTHAL-KAHABKA, 2005). Holznasslagerplätze sind somit ökonomisch, sowohl für den Bereich Forst, als auch die weiterverarbeitenden Industrien, äußerst wichtig. Auch aus ökologischer Sicht wäre eine Vergeudung dieser Ressourcen nicht empfehlenswert. Die verloren gegangenen Holzmengen müssten unter Umständen anderweitig importiert werden.

Vorraussetzung für eine entsprechende Lagerung und Konservierung sind geeignete Lagerplätze. Diese sollten möglichst gut an die Infrastruktur angeschlossen sein und ausreichend Platz bieten. Auch eine Schädigung des Bodens durch die Einlagerungsarbeiten sollte so gering wie möglich sein. Plätze, die diese Eigenschaften aufweisen, wurden zuvor meist gewerblich genutzt. Diese Nutzungen hatten jedoch häufig Verschmutzungen des Untergrundes zur Folge. Eine potenziell erhöhte Belastung mit Schwermetallen, Kohlenwasserstoffen oder Pflanzenschutzmitteln steht hier oft der Nutzung als Holznasslagerplatz entgegen. So auch im Beispiel des Holznasslagers am Hengsteysee in der Stadt Hagen.

Im Januar 2007 zog der Sturm Kyrill über Europa hinweg und hinterließ große Schäden in den Wäldern. So auch in den Waldgebieten um die Stadt Hagen, im Bundesland Nordrhein-Westfalen. Von den 6750 ha Waldflächen, Stadt- und Privatwald zusammengekommen, waren 700 ha total vernichtet und weitere große Bereiche angebrochen. Allein in dieser Region hatte dies ein Holzaufkommen von etwa 220.000 Festmeter zur Folge. Unter normalen Bedingungen wäre dies die Einschlagsmenge von 10 Jahren (FORSTAMT, 2007). Daraufhin wurde im Sommer 2007 am Ufer des Hengsteysees, im Stadtteil Hagen Hengstey, auf dem Gelände eines ehemaligen Rangierbahnhofs, ein Holznasslagerplatz für die Lagerung von 100.000 Festmeter Holz eingerichtet.

Das Ruhrgebiet ist der größte Ballungsraum Deutschlands. Die hohe Einwohnerzahl, die unzähligen Betriebe und die Industrie bedingen einen entsprechenden Wasserbedarf. Wegen nicht ausreichender Grundwasservorkommen ist die Ruhr wichtigste Basis der Trinkwassergewinnung. Im Ruhrtal wird durch großräumige Grundwasseranreicherung die Trinkwasserversorgung gewährleistet. So auch am Hengsteysee.

Hier trat nun ein Interessenskonflikt zwischen der Rohstoffhaltung und dem Trinkwasserschutz auf. Das Gelände galt auf Grund der ehemaligen Nutzung als potenziell mit Pestiziden und anderen Schadstoffen belastet. Durch die Beregnung wird der Sickerwasseranfall erhöht, und die Beschaffenheit des zur Versickerung kommenden Wassers durch das Holz verändert. Unklar war, ob diese Faktoren zu einer Mobilisierung der Schadstoffe führen würden.

Da eine Anlage zur Trinkwassergewinnung, in etwa 1,2 km Entfernung, künstlich angereichertes Grundwasser und Uferfiltrat zur Trinkwasserversorgung für den Versorgungsbereich Hagen nutzt, wurde die Errichtung des Holznasslagers nur unter strengen Auflagen genehmigt. Vom Beginn der Beregnung an wurde über den Zeitraum von sechs Monaten ein sehr aufwändiges Überwachungsprogramm (Monitoring) durchgeführt. Die 12 Probenahmestellen, darunter 8 neu angelegte Grundwasserbrunnen, wurden wöchentlich auf bis zu 95 Einzelwerte untersucht. Das Monitoring diente hier allerdings nur dem Zweck, eine mögliche Überschreitung der zulässigen Trinkwassergrenzwerte zu erfassen und gegebenenfalls Warnungen auszugeben.

Besonderes Augenmerk wurde auf die Pflanzenbehandlungs- und schutzmittel (PBSM) gelegt. Sie umfassen 41 der insgesamt 95 Einzelwerte. Im Bereich der PBSM steht der Wirkstoff Atrazin weit im Vordergrund. Atrazin wurde lange Zeit zur Unkrautkontrolle in der Landwirtschaft, entlang von Verkehrswegen und vielen weiteren Einsatzbereichen großflächig angewendet (BMU, 2007 und UMWELTBUNDESAMT (AT), 2005). In Deutschland ist der Einsatz bereits seit 1992 verboten. Dennoch ist es auch heute noch für die meisten Überschreitungen der zulässigen Geringfügigkeitsschwellenwerte (TrinkwV, 2001) im Grundwasser verantwortlich.

## 1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Aus einer ersten Betrachtung der Analyseergebnisse zum Atrazinwert gingen nur vereinzelte Überschreitungen der zulässigen Geringfügigkeitsschwellenwerte hervor. Die aufgetretenen Stoffkonzentrationen stellen somit nicht das eigentliche Problem dar. Weitestgehend unbekannt sind die Strömungsverhältnisse und Eigenschaften des Untergrundes. Für eine Abschätzung der Gefährdung der Trinkwassergewinnung sind die möglichen Eintragswege hier von vorrangiger Bedeutung.

Die Ziele dieser Diplomarbeit sind ein besseres Verständnis der Strömungsverhältnisse im Untergrund und deren Einfluss auf die Verlagerung der aufgetretenen Atrazinkonzentrationen. Dazu werden die entsprechenden Monitoringdaten zusammen mit den Daten der Geohydrologie aufbereitet und interpretiert.

Unter anderem wird dabei das Grundwassermodellierungsprogramm MODFLOW zur weiteren Unterstützung eingesetzt. Eine Betrachtung der möglichen Abhängigkeiten der Atrazinausträge aus dem Untergrund soll hier nur am Rande, und nur für die wichtigsten Parameter und Stoffe, erfolgen.



## 2. Stand der Forschung

### 2.1 Atrazin

Das Herbizid Atrazin gehört zur chemischen Gruppe der Triazine und ist ein Vor- und Nachlaufherbizid. Triazine sind weltweit die am meisten in der Landwirtschaft eingesetzten Herbizide. Atrazin ist dabei das am häufigsten verwendete Triazin-Derivat. Entlang von Eisenbahntrassen und Strassen wurde Atrazin zur Unkrautkontrolle eingesetzt. Da es im Verdacht steht, karzinogen und hormonell zu wirken, besteht seit 1992 in Deutschland, und seit 1995 in Österreich, ein vollständiges Anwendungsverbot für diesen Wirkstoff (BMU 2007 und UMWELTBUNDESAMT [AT] 2005).

Im März 2004 wurde Atrazin nicht in den Anhang I der Richtlinie 91/414/EWG aufgenommen und die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln mit diesem Wirkstoff widerrufen (AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION 2004).

Ein stetiger Rückgang der gemessenen Atrazinwerte im Boden, den Gewässern und dem Grundwasser ist somit zu erwarten und laut einer Länderabfrage des BMU (2007) auch belegt. Neueinträge können nur auf illegale Anwendungen zurückgeführt werden.

Sorptions-, Desorptions- und Abbauverhalten sind die bestimmenden Faktoren für die Mobilität und Persistenz organischer Verbindungen. Diese Prozesse werden unter Umständen von verschiedenen einzelnen Faktoren gesteuert und beeinflusst. Hierzu gehören der Gehalt an Tonmineralen oder organischen Stoffen im Boden, der pH-Wert und mikrobielle Aktivitäten.

In den folgenden Abschnitten soll ein Überblick zum Sorptions- und Desorptionsverhalten, sowie zum Abbau und dem Transport von Atrazin gegeben werden. Alle Details zu den folgenden Beschreibungen sind den entsprechenden Quellen direkt zu entnehmen.

#### **Sorption**

Welche Bedeutung die mineralischen oder organischen Bodenbestandteile für die Sorption haben, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. So wird einerseits eine starke Abhängigkeit der Sorption vom TOC (Total Organic Carbon)-Gehalt beschrieben (BOUCHARD 1999, HUANG et al. 2003 und BLUME et al. 2004), andererseits gibt es Studien die genau zum gegenteiligen Ergebnis gelangen (SPARAGUE et al. 2000, COQUET 2003 und COQUET et al. 2004), und überwiegend eine positive Korrelation der Sorption mit dem Anteil der Tonminerale feststellen.

Da die untersuchten Böden in diesen Arbeiten eine breite Varietät im organischen Gehalt sowie im Gehalt an Tonmineralen aufwiesen, scheint eine Interaktion mit beiden Komponenten von der jeweiligen Zusammensetzung des Bodens abzuhängen (SPARK und SWIFT 2002, STIPIČEVIĆ et al. 2009 und LIMA et al. 2010). Weist ein Boden oder eine Bodenschicht geringe Gehalte organischen Materials auf, so wird Atrazin hauptsächlich an Tonmineralen adsorbiert. Ebenso spielen vermutlich die Eigenschaften sowie die Anordnung der organischen Bodenbestandteile eine Rolle.

Der TOC-Gehalt eines Bodens gibt keinen Aufschluss darüber, ob dieser auch für Pestizide erreichbar ist. So schlussfolgern CELIS et al.(1999), dass die Anzahl der Adsorptionsstellen auch durch Wechselbeziehungen innerhalb der jeweils vorhandenen

Bodenbestandteile (Huminsäuren und verschiedene Mineralien) reduziert werden kann. Auch sind die organischen Verbindungen unterschiedlich strukturiert. So berichten LIMA et al. (2010), dass die Sorption mit steigendem Gehalt an aromatischen Verbindungen zunimmt. CELANO et al. (2008) beschäftigten sich mit dem Sorptionsverhalten von Triazinen an Huminsäuren von unterschiedlicher Struktur. Hier konnte ebenfalls eine stärkere Bindung des Atrazin an aromatisch-organische, als an phenolische oder carboxylische Verbindungen beobachtet werden..

Auch die Tonminerale weisen unterschiedliche Sorptionseigenschaften auf. HERWIG et al. (2001) beschäftigten sich mit Kaoliniten, Illiten und Montmorilloniten, deren Oberflächen-Kationen entweder aus  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  oder  $\text{Fe}^{3+}$  Ionen bestanden. Dabei zeigte sich eine Zunahme des Adsorptions-isotherms von  $\text{Na} < \text{Ca} < \text{Ni} < \text{Cu} < \text{Fe}$ .

In einer frühen Studie stellten McGLAMOREY und SLIFE (1966) eine Zunahme der Adsorption bei sinkendem pH-Wert fest, wiesen jedoch darauf hin, dass der sinkende pH-Wert auf einem steigenden Gehalt an organischen Säuren begründet gewesen sein könnte.

Zusammenfassend kann das Sorptionsverhalten als eine für jeden Boden spezifische Eigenschaft angesehen werden. Eine ausschließlich auf den Mengenangaben der Bodenbestandteile basierende Ableitung dieser spezifischen Sorptionsrate ist dabei nicht möglich.

### Desorption

Die organischen Bodenbestandteile nehmen eine Schlüsselrolle im Desorptionsprozess ein. Atrazin bildet hier teilweise sehr stabile Bindungen aus. Dies hat eine langsame, und teilweise verspätet einsetzende Desorption zur Folge. Auch wird das gebundene Atrazin nicht vollständig desorbiert (CAPRIEL und HAISCH 1983, BOUCHARD 1999, NEMETH-KONDA et al. 2002, SPARK und SWIFT 2002, HUANG et al. 2003, DRORI et al. 2005 und LIMA et al. 2010). Der Rückerhalt schwankt jedoch auch bei gleichem Gehalt organischer Bodenbestandteile. Den Arbeiten von BOUCHARD (1999) und DRORI et al. (2005) zur Folge, kann eine längere Kontaktzeit des Atrazin mit dem Boden zu verminderten Desorptionsraten führen.

Laut der Arbeit von LIMA et al. (2010) ist der Anteil der Aromaten an den organischen Verbindungen der Hauptgrund für ein unterschiedliches Desorptionsverhalten. Demzufolge bilden aromatisch-organische Bodenbestandteile wesentliche stabilere Bindungen, als andere organische Verbindungen. Ein hoher Bodengehalt an diesen Aromaten äußert sich demnach in einer gesteigerten irreversiblen Sorption.

Ob die Zufuhr von frischem TOC oder DOC (Dissolved Organic Carbon) dabei zu einer verstärkten Mobilisierung des sorbierten Atrazin führt, konnte nicht abschließend geklärt werden (LIMA et al. 2010 und DRORI et al. 2005).

Eine verstärkte Desorption bei steigenden Temperaturen wurde von McGLAMERY und SLIFE (1966) festgestellt.

Wie bereits erwähnt besitzen die Tonminerale unterschiedliche Sorptionseigenschaften, die ebenfalls ein unterschiedliches Desorptionsverhalten zur Folge haben. Atrazin wird hier in der Regel wieder vollständig desorbiert. Einzige Ausnahme stellen die  $\text{Fe}^{+3}$  Tonminerale

dar, welche laut der Arbeit von HERWIG et al. (2001) ein irreversibles Sorptionsverhalten aufzeigten.

### Degradation

Die Degradation erfolgt über Hydrolyse und Photolyse. Den größten Anteil haben jedoch mikrobielle Aktivitäten (CAPRIEL und HAISCH 1983, ISSA et al. 1997 und BLUME et al. 2004). Bei der Hydrolyse entsteht vor allem Hydroxyatrazin. Durch mikrobiellen Umsatz werden unter anderem Desethylatrazin, Desisopropylatrazin und ebenfalls Hydroxyatrazin gebildet.

Durch wiederholte Atrazinanwendung scheint der mikrobielle Abbau stimuliert zu werden (HANG et al. 2007). Diese Stimulation führt demzufolge zu einer höheren Mineralisationsrate sowie zu einem schnelleren Abbau.

Die Halbwertszeiten schwanken sehr stark, und werden mit Werten von 10 bis zu 900 Tagen angegeben (VANDERHEYDEN et al. 1997 und BLUME et al. 2004). Auf Grund der komplexen Abhängigkeiten der Sorptions-, Desorptions- und Abbauprozesse konnten keine allgemeingültigen Werte festgelegt werden.

Der Transport von Atrazin durch die ungesättigte Bodenzone kann sowohl in gelöster Form, als auch über Kolloide erfolgen. Beim kolloidalen Transport haftet das Atrazin an kleinsten Bodenkolloiden. Aus den Arbeiten von TORKZABAN et al. (2008) und ZHUANG et al. (2009) geht hervor, dass eine Mobilisierung, bzw. der Transport von mehreren Faktoren abhängig ist. Je höher die Bodenfeuchte, desto schwächer werden die Bindungskräfte zwischen den Aggregaten bzw. den Kolloiden. Daraus folgt eine einfachere Herauslösung der Kolloide aus der Bodenmatrix.

Auch mit einer steigenden Infiltrationsrate werden mehr Kolloide transportiert. Hierbei ist ein Anstieg der Scherkräfte in den Poren für die Ablösung der Kolloide verantwortlich. Die einzelnen Kolloide können dann bei ausreichendem Porendurchmesser weitertransportiert werden.

## 2.2. Holznasslagerung

Die Holznasslagerung ist das einzige Holzkonservierungsverfahren welches es ermöglicht, große Holzmassen über mehrere Jahre, ohne Qualitätsverluste, zu lagern (ODENTHAL-KAHABKA 2005). Nadelholz kann, bei sachgerechter Durchführung, bis zu 5 Jahre in einem Holznasslager verbleiben. Bei der Holznasslagerung wird, durch eine ausreichende und stetige Beregnung, eine Wassersättigung der eingelagerten Stämme erzeugt. Das Porensystem der Hölzer bleibt hierdurch gegen den schädlichen Einfluss von Sauerstoff, Pilzen und Insekten geschützt.

Aus SCHEFFER (2002) kann eine Übersicht zu den Inhaltsstoffen der Hölzer, und teilweise zu deren Abbaueigenschaften, gewonnen werden. So besteht das Holz und die Rinde hauptsächlich aus Cellulose, Hemicellulose, Lignin, Tannine, Proteinen und Lipiden. Ebenfalls anzutreffen sind Phenole, Gerbstoffe und Harze.

Cellulose und Hemicellulose sind, aus verschiedenen Zuckereinheiten aufgebaute, Polysaccharide. Sie dienen als Kohlenstoff- und Energiequelle für Mikroorganismen. Als Endprodukt einer vollständigen Metabolisierung entstehen  $H_2O$  und  $CO_2$ . Unter anaeroben Bedingungen können neben den bereits genannten Endprodukten Fettsäuren, Methan und Schwefelwasserstoff entstehen.

Lignin ist eine hochmolekulare Substanz aus Phenylpropaneinheiten. Es ist ein schwer abbaubarer Stoff. Beim Ligninabbau werden vornehmlich CO<sub>2</sub> und Huminstoffe gebildet. Proteine bestehen aus einer Gruppe von etwa 20 verschiedenen Aminosäuren, die miteinander verknüpft sind. Sie sind ein Stickstofflieferant, und gehören zu den leicht verwertbaren Substanzen. Bakterien nehmen diese Stoffe meist direkt auf, und verwenden sie zur Bildung von Körpersubstanz.

Durch einen ständigen Kontakt mit Wasser werden eine Vielzahl dieser Stoffe, sowie deren organische und mineralische Abbauprodukte, aus den eingelagerten Hölzern ausgewaschen. Damit verändert sich die stoffliche Zusammensetzung des von den Stämmen abfließenden Wassers. In der Vergangenheit wurden diese Abwässer kaum untersucht.

In der Anfangsphase der Einlagerung, dies sind die ersten 4 bis 12 Wochen, steigt der chemische Sauerstoffbedarf bis auf das 8-fache des unbeeinflussten Beregnungswassers an (PEEK und LIESE, 1977 und ITTEL-REINLASSÖDER, 1991). Danach sinkt dieser Wert stetig bis auf Werte ab, die nur leicht über denen des unbeeinflussten Beregnungswassers liegen.

Auch sind erhöhte DOC, Phosphat, Kalium und Sulfat Werte zu erwarten. Diese fallen aber ebenfalls nach der Anfangsphase wieder auf einen nur leicht erhöhten, oder sogar den Anfangswert zurück (SORGE et al., 1994 und BORGA, 1996-I). Phenole und Harzsäuren treten meist nur innerhalb der ersten 4 Wochen in gesteigertem Maße im Abwasser auf (BORGA-1, 1996).

Der pH-Wert fällt zu Beginn deutlich ab. Nach einer Wiederanstiegszeit von etwa 2 Wochen befindet sich der pH-Wert nur noch leicht unter dem, des unbeeinflussten Beregnungswassers (BORGA, 1996-I, BORGA, 1996-II und SORGE et al., 1994).

Sowohl SORGE et al. (1994) als auch BORGA (1996-I) und BORGA (1996-II) konnten im Vergleich zum unbeeinflussten Beregnungswasser eine Abnahme der Nitrat- und Nitritwerten im Abwassers feststellen.

## 3. Das Untersuchungs­gelände

### 3.1 Allgemeine Beschreibung

Das Untersuchungs­gelände wurde als Holznasslager genutzt und befindet sich auf dem Areal eines ehemaligen Rangierbahnhofs in der Stadt Hagen, in Nordrhein-Westfalen. Es liegt am Südufer eines Ruhrstausees, dem Hengsteysee. Im Südosten verläuft die Bahnlinie Dortmund-Hagen, gefolgt von einer Anhöhe mit landwirtschaftlicher Nutzung. In Abbildung 3.1.1 ist der Verlauf der Ruhr, und die Lage des Untersuchungs­geländes in einem Kartenausschnitt dargestellt.

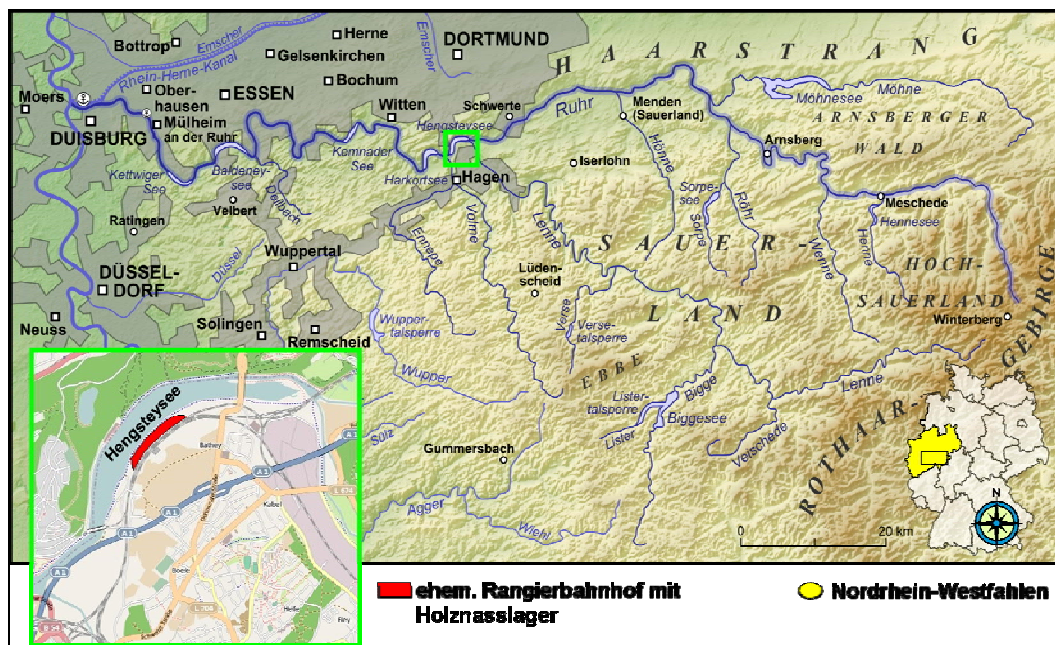


Abbildung 3.1.1: Verlauf der Ruhr und Lage des Holznasslagerplatzes. Lagekarte zur räumlichen Orientierung (verändert nach WIKIPEDIA, 2010).

Der Hengsteysee entstand im Jahr 1929, als ein Walzenwehr mit dem Laufwasserkraftwerk Hengstey errichtet wurde (RUHRVERBAND-2, 2009). Primär war der Hengsteysee als Flusskläranlage geplant, die Nutzung des Wassers zur Energiegewinnung bot sich als zweiter Aspekt an. Seitdem wird die Ruhr vom Wehr, ca. 4 km flussaufwärts, bis zum Zusammenfluss von Lenne und Ruhr gestaut. Die genaue Lage ist der Abbildung 3.1.2 zu entnehmen. Auf diese Weise verlangsamt sich die Fließgeschwindigkeit. Welches ein Absetzen der mitgeführten Schwebstoffe und die Förderung der Selbstreinigungskräfte zur Folge hat.

In der Region weisen die Gesteine keine nennenswerten Grundwasservorkommen auf (HAD, 2000). Eine ausreichende Versorgung mit Trinkwasser kann daher nur über die Nutzung des Flusswassers erfolgen. So ist unterhalb des Laufwasserkraftwerks das Gelände eines Wasserwerks anzutreffen (Abb. 3.1.2). Der Holznasslagerplatz ist etwa 1,2 km von diesem Gelände entfernt, und liegt noch außerhalb der Schutzzone 3 (STADTWERKE HAGEN, 1998). Das Wasserwerk nutzt künstlich angereichertes Grundwasser und Uferfiltrat zur Trinkwassergewinnung (MARK-E, 2009).



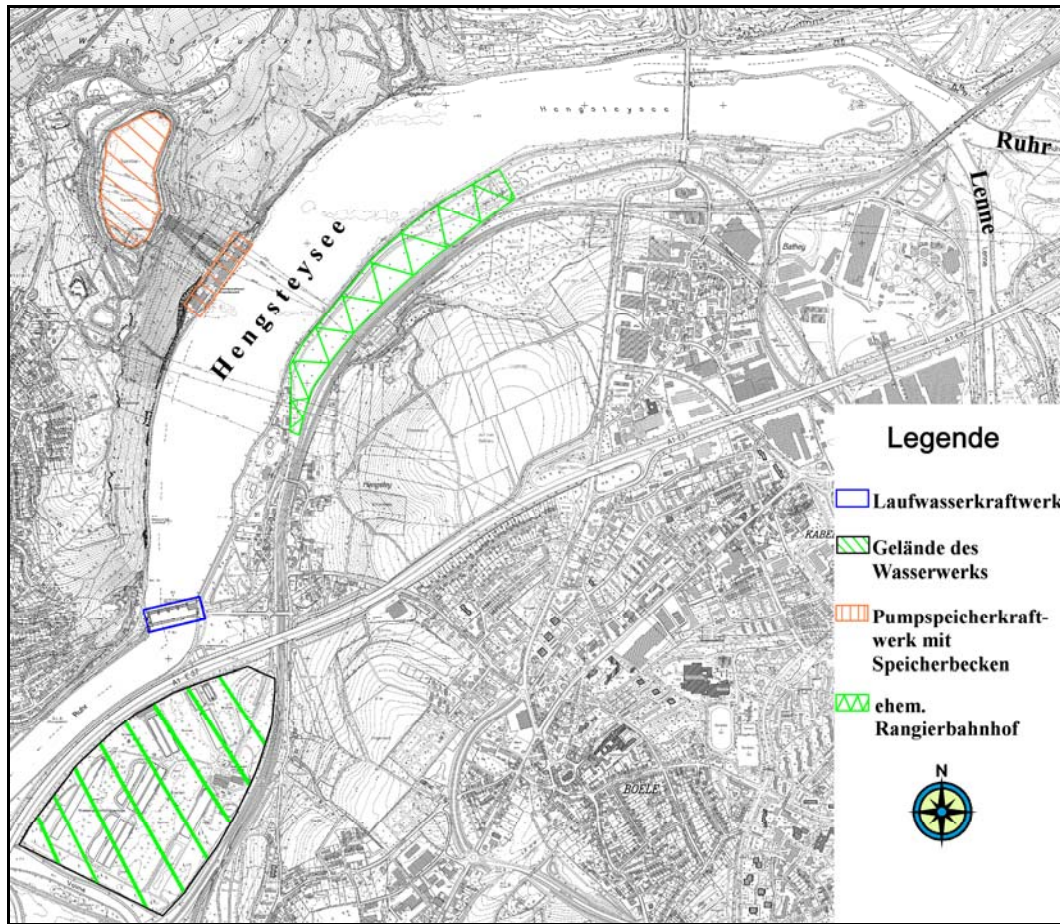
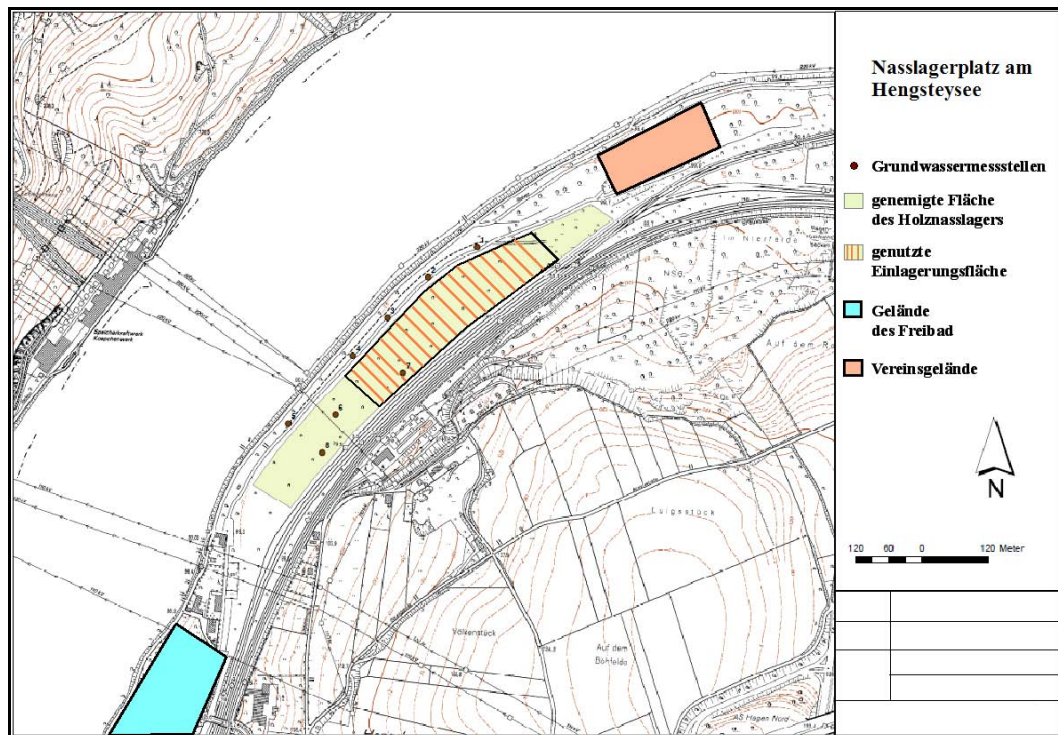


Abbildung 3.1.2: Übersichtskarte zur Umgebung (verändert nach AGL, 2009).

Alle folgenden Angaben zur Ausdehnung des Hengsteysee beziehen sich auf einen Seepegel von 96,3 m ü. NN bei vollem Einstau (RUHRVERBAND-2, 2009). Der Hengsteysee hat eine Breite von ca. 380 m. Das ehemalige Flussbett verläuft entlang des Nordufers und weist Tiefen von 4 - 6,75 m auf. Im ehemaligen Auenbereich ist der See jedoch mit Tiefen von 0,5 – 2,25 m eher seicht. Bei vollem Einstau fasst der Hengsteysee etwa 3,3 Mio. m<sup>3</sup> Wasser (RWE, 2009).

Prallhang ist das Nordufer mit einem steil, bis auf ca. 260 m ü. NN, ansteigenden Hang. Das Südufer ist in weiten Teilen mit mittelgroßen Bruchsteinen befestigt (Anhang A Abb. A. 1).

Der Holznasslagerplatz befand sich auf einem Teil des ehemaligen Rangierbahnhofs (Abbildung 3.1.3). Der Abstand zum See betrug im Schnitt 35 – 40 m. Am nordöstlichen Ende sogar über 80 m. Die Abmaße des genehmigten Lagerplatzes, welches das Untersuchungsgelände darstellt, waren etwa 750 x 90 m. Eingelagert wurde das Holz dort auf einer Fläche von ca. 372 x 86 m. Die Ausrichtung des Lagerplatzes war längs, von Nordosten nach Südwesten, parallel zum Verlauf der Bahnlinie Dortmund-Hagen. Diese stellte gleichzeitig die südöstliche Begrenzung dar. Östlich grenzt es an ein Vereinsgelände, und im Südwesten folgt ein Freibad.



**Abbildung 3.1.3:** Lageplan des Holz Nasslagerplatzes auf dem Gelände des ehem. Rangierbahnhofs Hagen-Hengstey (verändert nach STORA ENSO, 2009).

Nach der Stilllegung des Rangierbahnhofs verblieb der Gleisschotter ohne Renaturierungsmaßnahmen auf der Fläche. Da bis 2007 keine Nutzung des Geländes erfolgte, wurde die Fläche durch Ruderalpflanzen besiedelt, und ein junger Birkenwald entstand (Anhang A Abb. A. 2). Dabei bildete sich eine wenige Zentimeter dicke Humusschicht. Bei den Arbeiten zum Nasslager ging dieser Humus jedoch weitestgehend durch Rodung und Befahrung wieder verloren (Anhang A Abb. A. 3 und Abb. A. 4).

Der Untergrund des ehem. Rangierbahnhofs besteht aus einer, teils über 4 m mächtigen, Auffüllschicht, welche bei der Errichtung des Geländes aufgebracht wurde.

Die Höhenverhältnisse wurden aus den Höhenlinien der Karten von STORA ENSO (2009), Angaben des RUHRVERBAND-2 (2009) und aus FLUHME (2007) entnommen. Der Hengsteysee erreicht bei Vollstau, wie bereits erwähnt, eine Höhe von 96,3 m ü. NN. Das Gelände des ehemaligen Rangierbahnhofs und die Umgebung der Bahnlinie Dortmund-Hagen liegen auf 99,5 m ü. NN. Jenseits der Bahnlinie steigt das Gelände mit einer mittleren Steigung von 5 % bis auf 137 m ü. NN an.

### 3.2 Geologie

Aus der Geologischen Karte (Abb. 3.2.1), den Arbeiten von BÄRTLING (1930) und SKARK und REMMLER (2007) geht eine klare Gliederung der geologischen Verhältnisse der betrachteten Region hervor. Die folgende Beschreibung der allgemeinen Geologie beruht, sofern im Text nicht gesondert angegeben, vollständig auf der Literatur von BÄRTLING (1930), DILLO et. al. (1991), FLUHME (2007) und SKARK und REMMLER (2007).



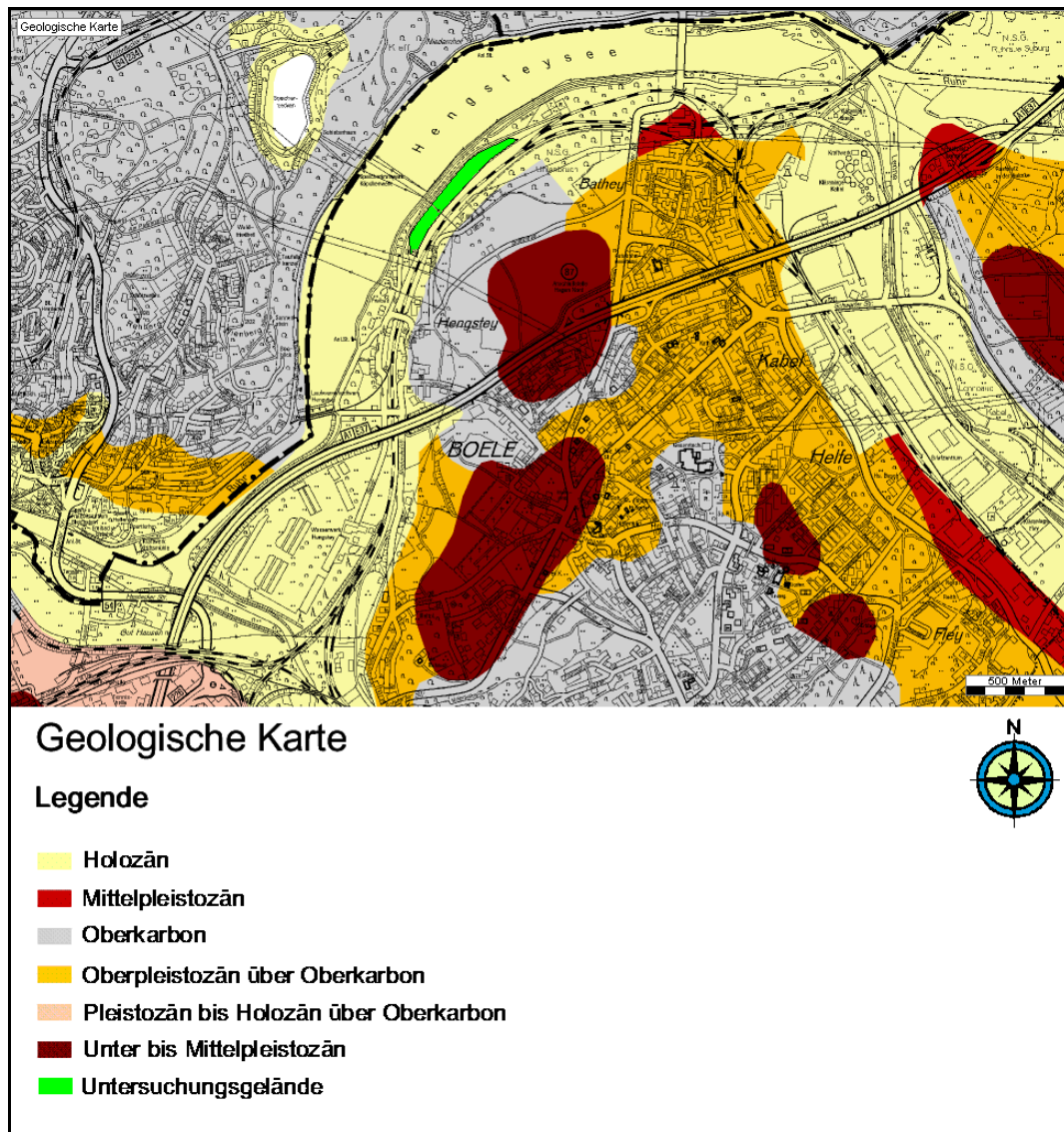


Abbildung 3.2.1: Geologische Karte der Region um den Hengsteysee. (verändert nach AGL, 2009).

### Allgemein

Die südlich des Lagerplatzes angrenzende Landschaft, mit ihren flachen Hängen, ist terrassenförmig eingeschnitten. Dort können eine untere, und eine obere Mittelterrasse unterschieden werden. Der Stadtteil Hagen-Hengstey, sowie die nicht aufgeschütteten Bereiche der Bahnanlagen, liegen auf der unteren Mittelterrasse. Der nach Südosten flach ansteigende Berg stellt die obere Mittelterrasse dar. In dieser Terrassenlandschaft liegen der Hengsteysee und die Aufschüttungen des Bahngeländes auf der Niederterrasse der Ruhr.

Den Ton- und Schluffsteinen des Oberkarbons liegen Schichten des Pleistozän und Holozän auf. Die unter- und mittelpleistozänen Schichten bestehen vor allem aus Lößlehm. Dieser Lößlehm Boden ist sehr fruchtbar und wird auch heute noch landwirtschaftlich genutzt. In den als Holozän angesprochenen Flusstälern wird das karbonische Festgestein von alluvialen Sedimenten (Mächtigkeiten 5 – 8 m) der quartären Niederterrasse überlagert. Die alluvialen Sedimente bestehen vorwiegend aus grobem Kies. Diesem, alluvialen Kies liegt eine Hochflutlehmdecke von etwa 2 – 3 m Mächtigkeit auf.



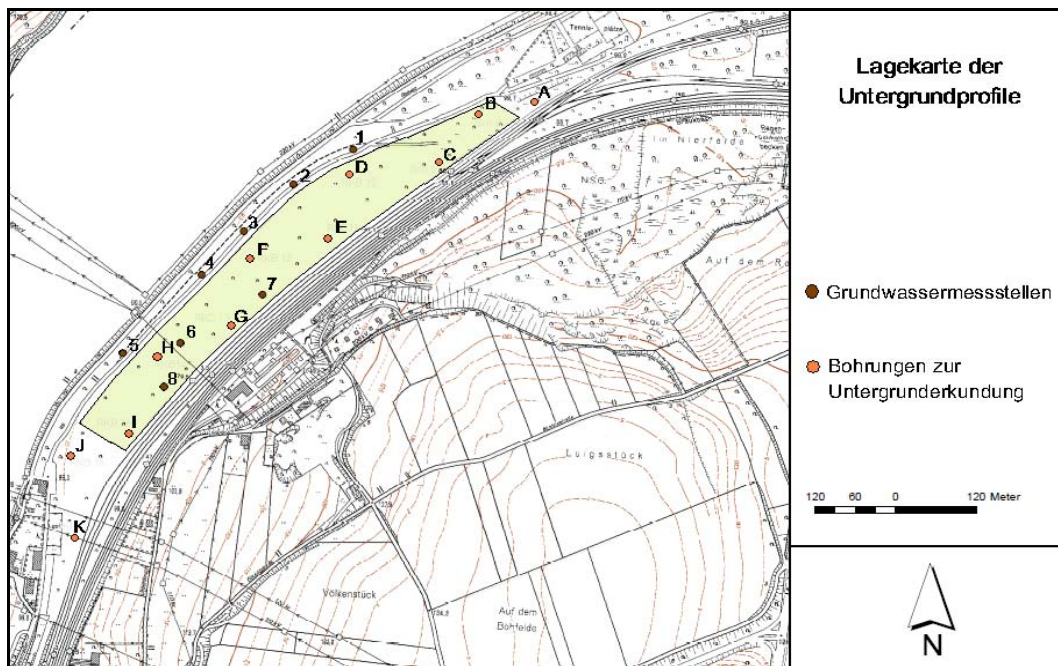
Nach MULL und HOLLÄNDER (2002) und HÖLTIG (1996) können die hydraulischen Durchlässigkeiten des Untergrundes mit folgenden Werten angenommen werden:

- Die Ton- und Schluffsteine zeigen Werte von  $10^{-9}$  bis  $10^{-8}$  m/s.
- Die Kiese der Sedimentschicht sind mit Werten von  $10^{-3}$  bis  $10^{-2}$  m/s anzunehmen.
- Die hydraulische Durchlässigkeit des Hochflutlehms liegt bei  $10^{-5}$  bis  $10^{-6}$  m/s.

### Auf dem Untersuchungsgelände

Das Regelprofil an einem ungestörten Ort würde etwa 8 - 9 m unter der Geländeoberkante (GOK) auf den Ton- und Schluffstein des Oberkarbons treffen. Diese sind überlagert von einer etwa 5 - 8 m mächtigen Sedimentschicht der quartären Niederterrasse. Überdeckt werden diese sandig-kiesigen Sedimente von einer im Mittel 2 m mächtigen Lehmschicht.

Unter dem Lagerplatz kann dieses Regelprofil nicht angetroffen werden. Bohrprofile aus den Jahren 1991 und 2007 geben einen guten Überblick zu den tatsächlichen Begebenheiten (DILLO et. al., 1991, FLUHME, 2007). Abbildung 3.2.2 gibt eine Übersicht zur Lage der bekannten Untergrundprofile.



**Abbildung 3.2.2: Übersicht zur Lage aller bekannten Untergrundprofile (verändert nach DILLO et al., 1991 und FLUHME, 2007).**

Die Bohrungen zur Untergrunderkundung stammen aus der Arbeit von DILLO et. al. (1991). Die Grundwassermessstellen (GWM) wurden im Zuge der Vorbereitungsarbeiten zum Holznasslagerplatz errichtet (FLUHME, 2007). So bestehen im Schnitt die obersten 0,5 m aus Schotter. Das darunter liegende Material ist eine Mischung aus Sand, Steinen, Kiesen, Schutt, Schotter, Aschen und Bodenmaterial, welches an anderer Stelle ausgehoben worden war. Die hier angetroffene heterogene Textur ist vorwiegend sandig, kiesig, steiniger Natur, wobei stellenweise auch schluffige Anteile angetroffen werden. Diese schluffigen Anteile sind vermutlich auf eine Befüllung von Bombentrichtern, aus dem 2. Weltkrieg, mit feinkörnigem Material zurückzuführen. Die Mächtigkeit der Auffüllschicht liegt im Mittel bei 3,8 m.

Die hydraulische Durchlässigkeit der Auffüllschicht wird mit  $10^{-5}$  m/s angenommen (SKARK und REMMLER, 2007). Unterhalb der Auffüllschicht folgt wieder das Regelprofil.

Auf dem Untersuchungsgelände ist noch auf bauliche Besonderheiten im Untergrund hinzuweisen. Am Ufer, entlang des Untersuchungsgeländes, bis unmittelbar hinter das Laufwasserkraftwerk, verläuft der so genannte Randkanal. Der Randkanal ist das Sammelrohr einer Entwässerungseinrichtung. Er wurde zur Ableitung von Gülle und Abwässern der nahe gelegenen Höfe errichtet (UMWELTAMT, 2009). Der Verlauf entlang des Ufers, ebenso wie die Lage der Zuleitungen, ist nur teilweise bekannt (Abb. 3.2.3). Die genaue Zahl der Zuläufe ist unbekannt. Es konnten keine weiteren Quellen gefunden werden, die Angaben jeglicher Art zu den baulichen Begebenheiten gemacht haben. Somit besteht die Möglichkeit unbekannter Drainagen bzw. drainend wirkender Elemente im Untergrund.

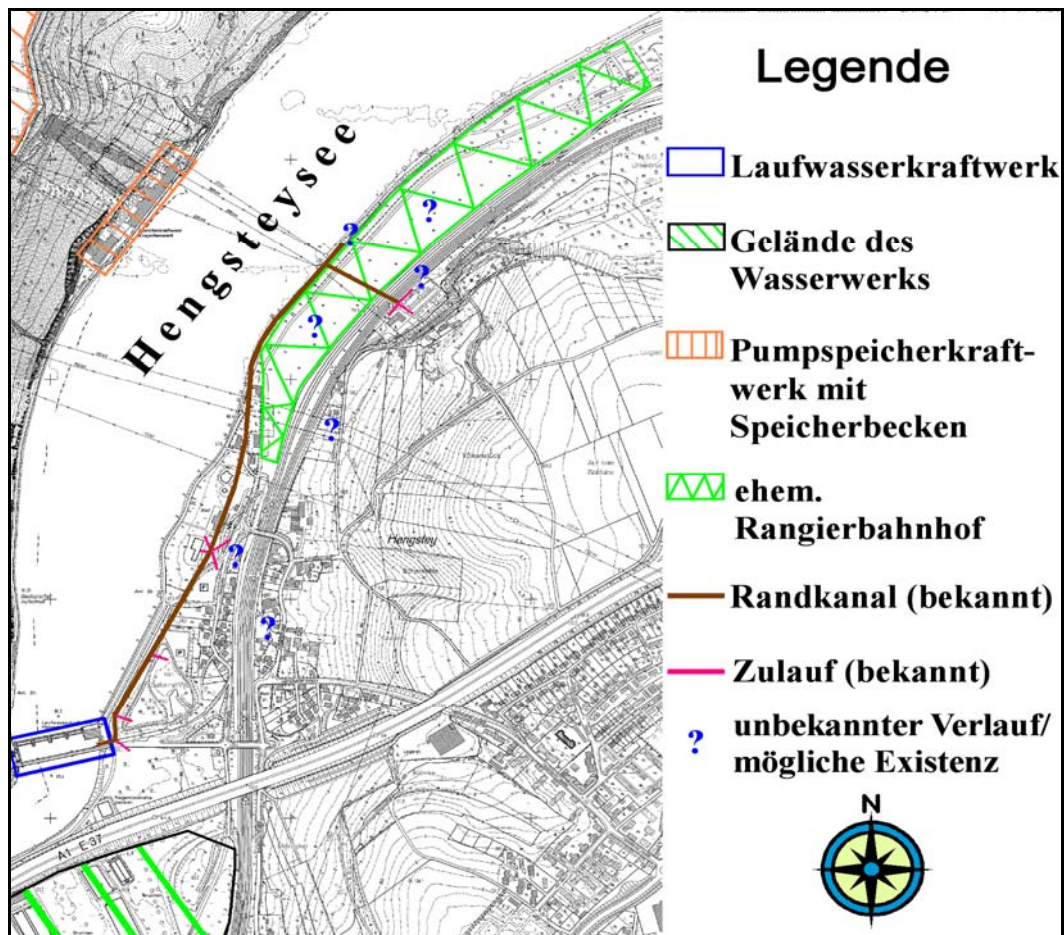


Abbildung 3.2.3: Bekannter Verlauf des Randkanals mit seinen Zuläufen. Weitere Zuläufe werden im Untergrund vermutet (verändert nach UMWELTAMT, 2009 und AGL, 2009).

Des Weiteren befindet sich im mittleren Bereich des ehemaligen Bahnhofsgeländes der Tunnel einer ehemaligen Unterführung. Nach heutigem Wissensstand liegt der Unterführungstunnel trocken. Die Unterführung stammt noch aus der Zeit vor dem Einstau des Hengsteysees, und ermöglichte den Bauern den Viehtrieb zu den Weideflächen auf der Ruhraue. Der seeseitige Zugang wurde vermutlich bei den Arbeiten zum Hengsteysee dicht verschlossen. Während der Holzlagerung 2007 diente er als Leitungsschacht und lag auch zu Zeiten der Bewässerung trocken (UMWELTAMT, 2009 und STORA ENSO, 2009).

### 3.3 Hydrologie

Die Ruhr entspringt im Rothaargebirge, und wird auf ihrem Weg zum Rhein von etlichen Nebenflüssen gespeist. Überwiegend ist der Ursprung der Nebenflüsse ebenfalls im Rothaargebirge zu finden (siehe Abb. 3.1.1). Daher zeigt sich ein nivales Abflussregime (RUHRVERBAND, 2008). In ihrem Verlauf wird die Ruhr intensiv zur Energie- und Wassergewinnung genutzt. So auch am Hengsteysee, mit einem Pumpspeicherkraftwerk (PSKW) und einem Laufwasserkraftwerk (siehe Abb. 3.1.2). Durch die künstliche Einstauung des Hengsteysees und dessen Nutzung ist hier das natürliche Abflussregime jedoch überprägt.

In Anbetracht der geologischen Verhältnisse auf dem Untersuchungsgelände ist davon auszugehen, dass der stärkste Einfluss vom Hengsteysee ausgeht. Es ist anzunehmen, dass sich der Grundwasserspiegel ähnlich dem Seepiegel verhält. Der Hengsteysee wiederum ist stark durch die Nutzung des PSKW geprägt. Er dient als unteres Speicherbecken und fasst bei Vollstau, wie bereits beschrieben, 3,3 Mio. m<sup>3</sup>.

Zu Schwachlastzeiten wird das obere Speicherbecken (siehe Abb. 3.1.2) mit Wasser aus dem Hengsteysee gefüllt. Es hat ein maximales Fassungsvermögen von 1,6 Mio. m<sup>3</sup> (RWE, 2009). Auf Grund der Volumenverhältnissen, von Speicherbecken und See, sind die täglichen Spiegelschwankungen von bis zu 70 cm nicht verwunderlich. Daher ist auch eine typische Ufervegetation, wie sie an vielen Seen anzutreffen ist, nicht vorhanden.

Der Zufluss zum Hengsteysee befindet sich am Nordufer. Der Abfluss erfolgt über die am Südufer gelegene Wehranlage des Laufwasserkraftwerks. Der mittlere Abfluss (MQ) beträgt 58 m<sup>3</sup>/s, und der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) 16 m<sup>3</sup>/s (SKARK und REMMLER, 2007). Die stärksten Fließbewegungen sind im Bereich des ursprünglichen Ruhrverlaufs zu erwarten. Das ehemalige Ruhrbett verläuft, mit einer Breite von etwa 45 - 55 m, entlang des Nordufers (RUHRVERBAND-2, 2009). Im restlichen Seebereich sind die Wasseraustauschbewegungen vermutlich wesentlich schwächer. Diese Begebenheit ist in der Hauptvegetationszeit der Elodea, einer Wasserpflanzenart, auch sichtbar (UMWELTAMT, 2009). Zu dieser Zeit breitet sich ein dichter Teppich aus Elodea auf der Seeoberfläche aus. Bis auf wenige Ausnahmen bleibt dabei nur der primäre Fließweg vegetationsfrei.

Der mittlere jährliche Niederschlag beträgt 899 mm (RUHRVERBAND, 2008). Im Bereich des Untersuchungsgeländes können für die Grundwasserneubildung 265 mm/a angenommen werden (SKARK und REMMLER, 2007)

### 3.4 Historischer Abriss

Der ehemalige Verlauf der Ruhr, vor dem Einstau des Hengsteysees, ist in Abbildung 3.4.1 dargestellt. Die Abbildung 3.4.1 wurde aus zwei Karten verschiedener Jahrgänge zusammengesetzt. Der obere, schwarz-weiße, Kartenteil zeigt den Zustand von 1921. Zu dieser Zeit war der Rangierbahnhof Hengstey (grüner Punkt in Abb. 3.4.1) bereits errichtet. Auch ist der Auenbereich, mit den Grenzen der Weideflächen, eingetragen. Die Ruhr floss damals nur entlang des Nordufers. Der untere, bräunliche Kartenteil stammt aus dem Jahr 1913. Bereits zu dieser Zeit bestand das Hagener Wasserwerk. Es ist in Abbildung 3.4.1 mit einem blauen Kreis markiert.





Abbildung 3.4.1: Historischer Verlauf der Ruhr mit Standorten des Hagener Wasserwerks und des Rangierbahnhofes. Zusammengesetzte Karte: obere Teil von 1921, unterer Teil von 1913 (verändert nach AGL, 2009).

Als der Hengsteysee (Abb. 3.4.2) 1929 entstand, erfolgte zwischen dem Zusammenfluss von Lenne und Ruhr, und dem Stauwehr eine Überflutung des Auenbereiches. Primär war der Hengsteysee als Flusskläranlage geplant, die Nutzung zur Energieerzeugung bot sich als zweiter Faktor an. FRANZ und WINTER (1930) beschrieben die Arbeiten und Planungen am Hengsteysee genauer. Das Pumpspeicherkraftwerk wurde in den Jahren 1927 bis 1930 gebaut. Zu den Arbeiten zum Hengsteysee gehörten auch die Ausbaggerungen des Ruhrvorlandes (Auenbereich) auf die heutige Seetiefe, sowie die Befestigung des neuen Ufers mit Bruchsteinen. Der Aushub belief sich auf rund 700.000 m<sup>3</sup> Bodenmasse. Er wurde auf Ansättungsflächen des heutigen Südufers aufgebracht, und zur Anlage von Strandbädern freigegeben.





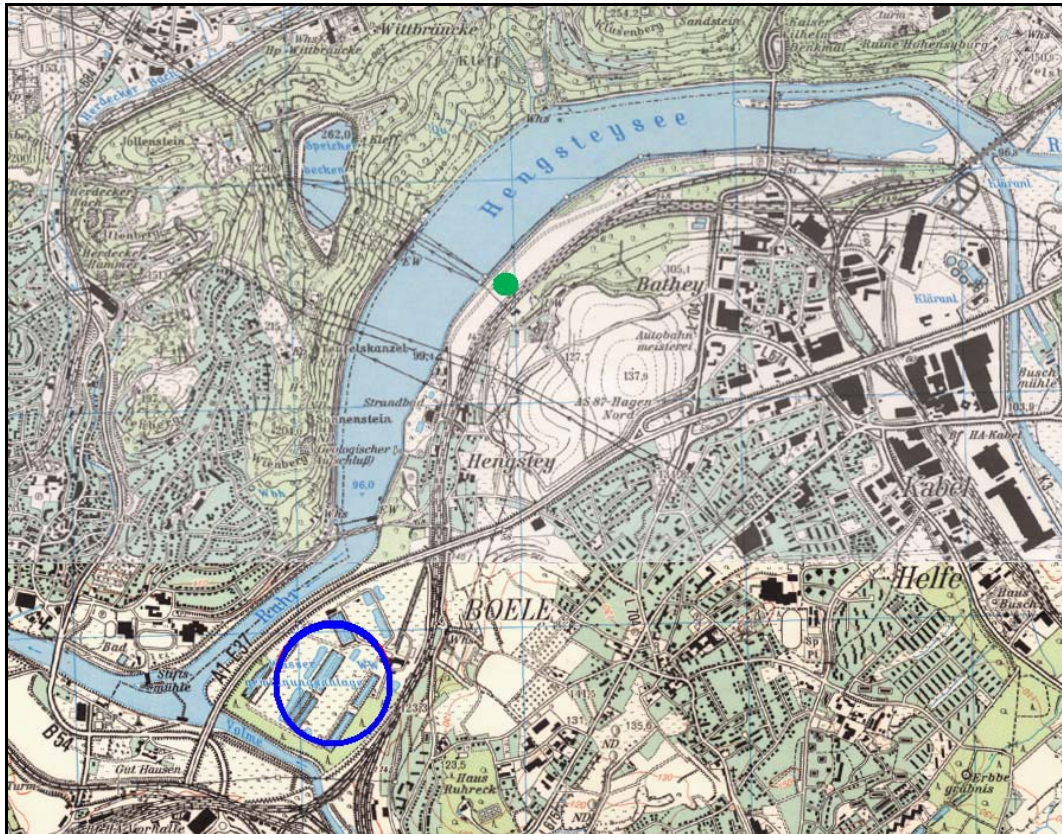
Abbildung 3.4.2: Lage des neuen Hengsteysees von 1935 (verändert nach AGL, 2009).

Die Ruhr unterhalb des Stauwehrs verblieb vorerst in ihrem natürlichen Verlauf. Das Hagener Wasserwerk verlegte zwischen den Jahren 1913 und 1935 seinen Standort vom linken, auf das rechte Ruhrufer (blauer Kreis in Abb. 3.4.2).

Im 2. Weltkrieg fand eine starke Bombardierung des Rangierbahnhofs statt. Beim Wiederaufbau nach dem Krieg wurden die Bombentrichter aufgefüllt und das Gelände vollständig in Stand gesetzt.

Durch einen Autobahndamm wurde der Ruhrverlauf später geändert. Es erfolgte eine Verlegung in nord-westlicher Richtung (Abb.3.4.3). Ehemals floss die Ruhr in diesem Bereich parallel zu den Bahngleisen und südlich am Wassergewerksengelände vorbei. Heute fließt die Ruhr nördlich, entlang des Autobahndamms der Bundesautobahn (BAB) 1. Das Areal der Wassergewinnungsanlage wird nun nicht mehr südlich, sondern nördlich umflossen.

Auf dem Rangierbahnhof in Hagen-Hengstey wurden Güterwaggons vorübergehend abgestellt oder zum Weitertransport umverteilt. Eine Be- oder Entladung der Waggons fand auf diesem Gelände nicht statt. Die Stilllegung erfolgte in den 1980-er Jahren. Auch nach dem Rückbau der Gleisanlagen erfolgte keine weitere Nutzung des Geländes. Erst in 2007 fand es als vorübergehender Holznasslagerplatz Verwendung.



**Abbildung 3.4.3: Heutiger Verlauf der Ruhr (verändert nach AGL, 2009).**



## 4. Datenlage

### 4.1. Monitoring in 2007

Auf Grund der Annahme einer möglichen Kontamination des Grundwassers, durch verschiedene Stoffausträge aus dem Gelände, wurde ein umfangreicher Monitoringplan erstellt. Der Überwachungszeitraum belief sich auf insgesamt sechs Monate (15.06.2007 bis 13.12.2007). Ziel des Monitoring war es, die Einhaltung der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung zu Überwachen. Eine mögliche Überschreitung der Grenzwerte sollte so möglichst früh erkannt, und damit eine Gefährdung des Trinkwassers vermieden werden.

Die Rahmenbedingungen und der Parameterumfang wurden von der zuständigen Bezirksregierung vorgegeben (BEZIRKSREGIERUNG ARNSBERG, 2007). Die Probenahme und die Analyse wurden von einem extern beauftragten Wasser- und Umweltlabor durchgeführt.

#### 4.1.1 Messpunkte

Zur Beprobung des Grundwassers wurden acht Grundwassermessstellen (GWM) auf dem Lagerplatz angelegt. Das Wasser des Hengsteysees wurde an drei Messpunkten, oberhalb, unterhalb und an der Rohwasserfassung des Wasserwerks, beprobt. Das von den Holzstämmen abfließende Beregnungswasser wurde über einen Querschnitt gefasst, und ein Messpunkt (BW) eingerichtet.

Die Abbildung 4.1.1 zeigt eine Übersicht aller Messpunkte mit Angabe der georeferenzierten Standorte.

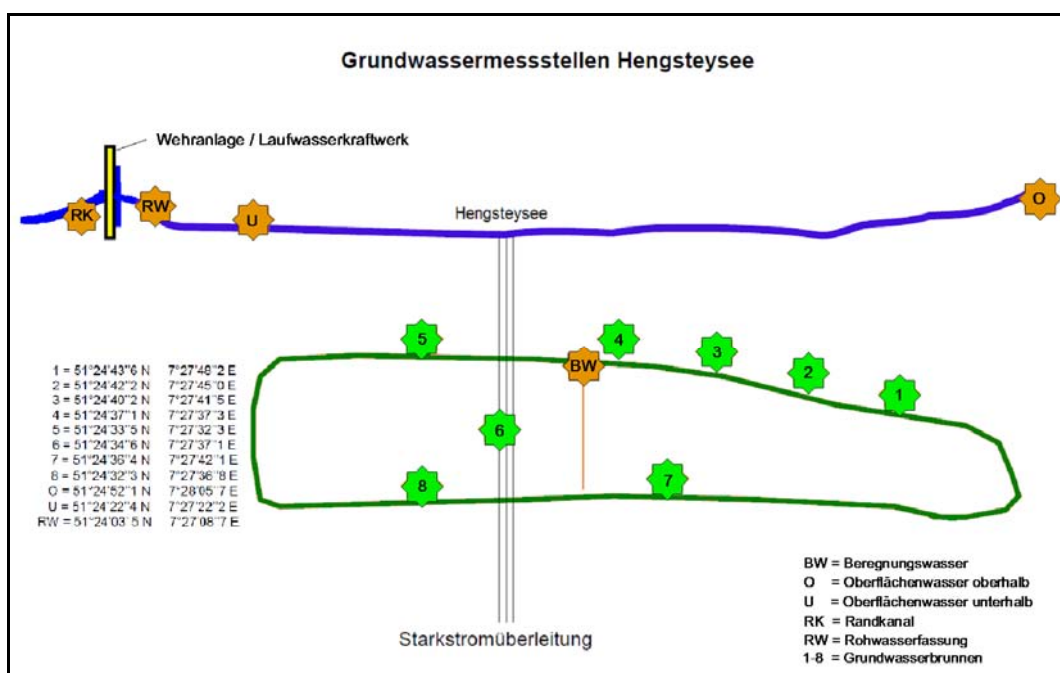
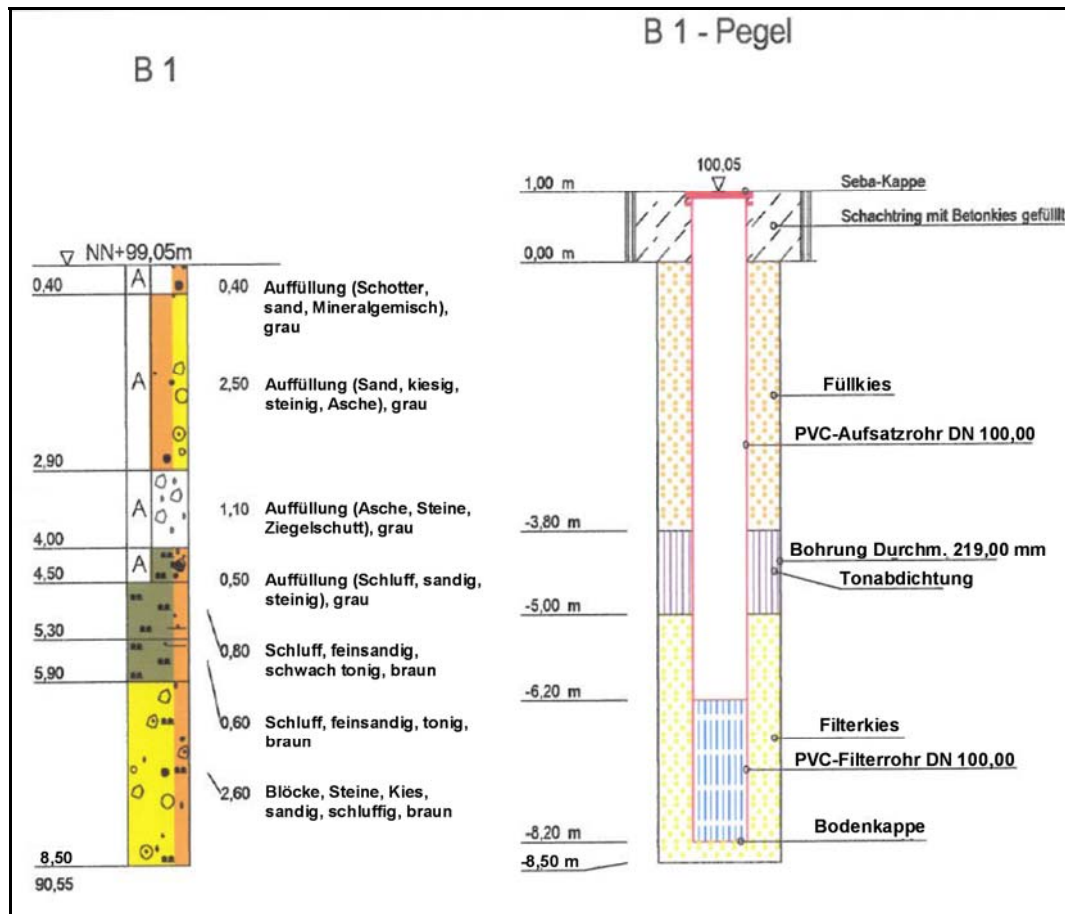


Abbildung 4.1.1: Nicht maßstabsgetreue Übersichtsskizze zur Lage der Messpunkte (verändert nach Vorlage von STORA ENSO, 2009).

Der Auslass des Randkanals wurde im Verlauf der Überwachung als weiterer Messpunkt (RK) in das Monitoring aufgenommen. Er befand sich am linken Ruhrufer, unterhalb der Wehranlage des Laufwasserkraftwerks.

Die Brunnen der GWM wurden mit einer Tonabdichtung auf der erbohrten Höhe der Hochflutlehmdecke ausgestattet. Nur der Bereich in der Kiesschicht wurde verfiltert. Als Beispiel ist die Bohrung und der Brunnen von GWM 1 in Abbildung 4.1.2 dargestellt.



**Abbildung 4.1.2: Bohrergebnis und Aufbau des Brunnens der GWM 1 (verändert nach STORA ENSO, 2009).**

Der Brunnenaufbau aller weiteren GWM wurde entsprechend der dort angetroffenen Untergrundverhältnisse angepasst.



## 4.1.2 Parameter und Stoffe

Nach Betrachtung der möglichen Altlasten, sowie der durch die Beregnung unter Umständen zusätzlich auftretenden Stoffe, wurde eine umfangreiche Liste der zu überwachenden Parameter und Stoffe erstellt (siehe Anhang B Tab. B. 1). Diese umfasste sechs Vor-Ort-Parameter (Leitfähigkeit, pH-Wert etc.), sechs Summenparameter (DOC, Trübung etc.), acht Stickstoffverbindungen (Nitrat, Nitrit etc.), vier Ionen (P, K etc.), acht Metalle u. ä. (Arsen, Blei etc.), zwei organische Summenparameter, sechzehn verschiedene polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), einundvierzig Wirkstoffe von Pflanzenbehandlungs- und Pflanzenschutzmittel (PBSM) bzw. deren wichtigste Metabolite sowie zwei perfluorierte Verbindungen.

## 4.1.3 Beprobungspläne

Der gesamte Überwachungszeitraum wurde in zwei Phasen unterteilt. In der ersten Phase, vom 15.06.2007 bis 27.09.2007, wurde engmaschig beprobt. Anhand der gewonnenen Daten aus Phase eins, wurde eine Anpassung des Beprobungsplans für die zweite Phase, vom 18.10.2007 bis 13.12.2007, vorgenommen.

In der ersten Phase wurde gemäß dem Beprobungsplan 1 (Anhang B Tab. B. 2) eine wöchentliche Probenahme an allen Messstellen vorgenommen. Die erste Beprobung wurde am 15.06.2007, und die letzte Beprobung am 27.09.2007, durchgeführt. Somit wurden sechzehn Beprobungstermine festgelegt.

Nach der Anpassung des Beprobungsplans verlängerten sich die Intervalle für die zweite Phase. Ein Messpunkt, der des Oberflächenwassers (U), fiel gänzlich weg. Der Auslass des Randkanals kam als neuer Messpunkt (RK) hinzu.

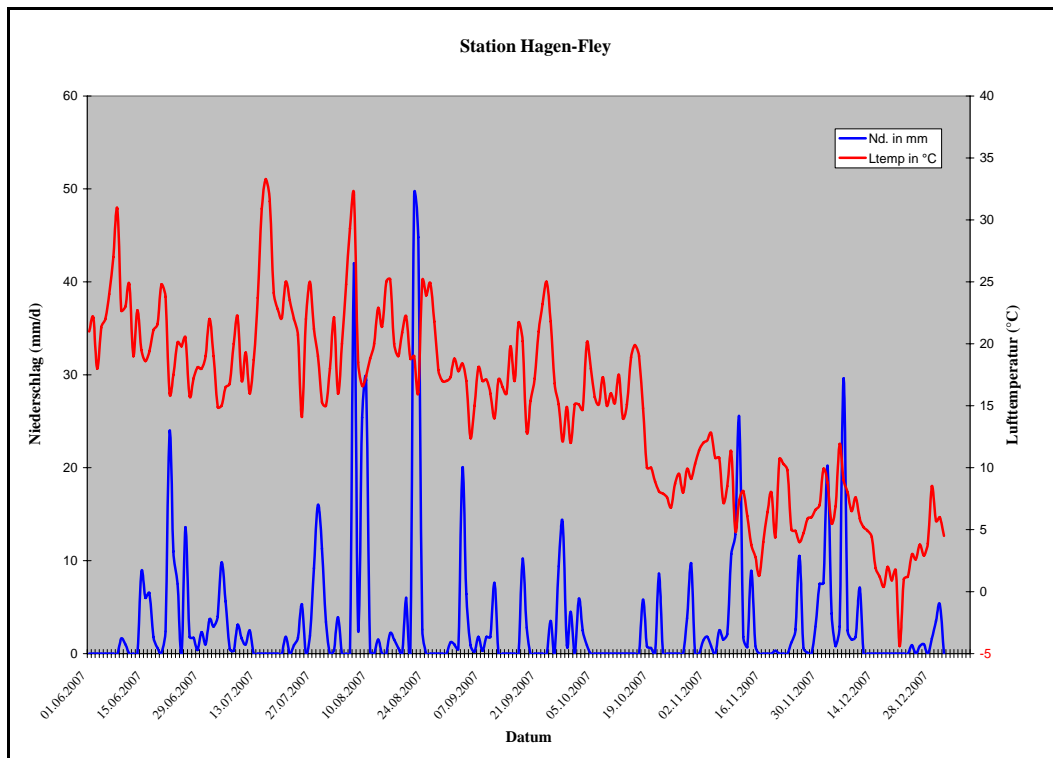
Die erste Probenahme erfolgte, laut Beprobungsplan 2 (Anhang B Tab. B. 3), am 18.10.2007, und die letzte Probenahme am 13.12.2007. Die GWM 4 und 7, das Oberflächenwasser (O, RW), das Beregnungswasser (BW) sowie der Randkanal (RK) wurden im zweiwöchigen Turnus beprobt. Die GWM 1 bis 3, 5 und 8 unterlagen nur noch einer monatlichen Beprobung.

## 4.2 Hydrologie

### 4.2.1 Klimadaten

Für die Berechnung der Sickerwassermengen wurden Klimadaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD, 2009) von den Wetterstationen Hagen-Fley (Abb.4.2.1) und Lüdenscheid angefordert.

Die Wetterstation Hagen-Fley liegt etwa 3,5 km süd-westlich des Untersuchungsgeländes und lieferte die täglichen Niederschlagssummen sowie die zum Klimatermin 2 gemessene relative Luftfeuchte und Lufttemperatur.



**Abbildung 4.2.1: Lufttemperatur und tägliche Niederschlagswerte der Station Hagen-Fley.**

Die tägliche, mittlere Windstärke stammt von der Wetterstation Lüdenscheid, welche sich in etwa 24 km Entfernung, in süd-süd-westlicher Richtung zum Untersuchungsgebiet befindet. Die gemessene Windgeschwindigkeit wurde in Beaufort (BFT) angegeben.

## 4.2.2 Seepegelstände und Tiefenlinien

Die Pegelwerte wurden an der Wehranlage des Hengsteysee gemessen. Routinemäßig wird hier die Pegelhöhe des Hengsteysees fortlaufend gemessen und automatisch dokumentiert (RUHRVERBAND-2, 2009). Für diese Arbeit wurden Stundenmittelwerte zur Verfügung gestellt.

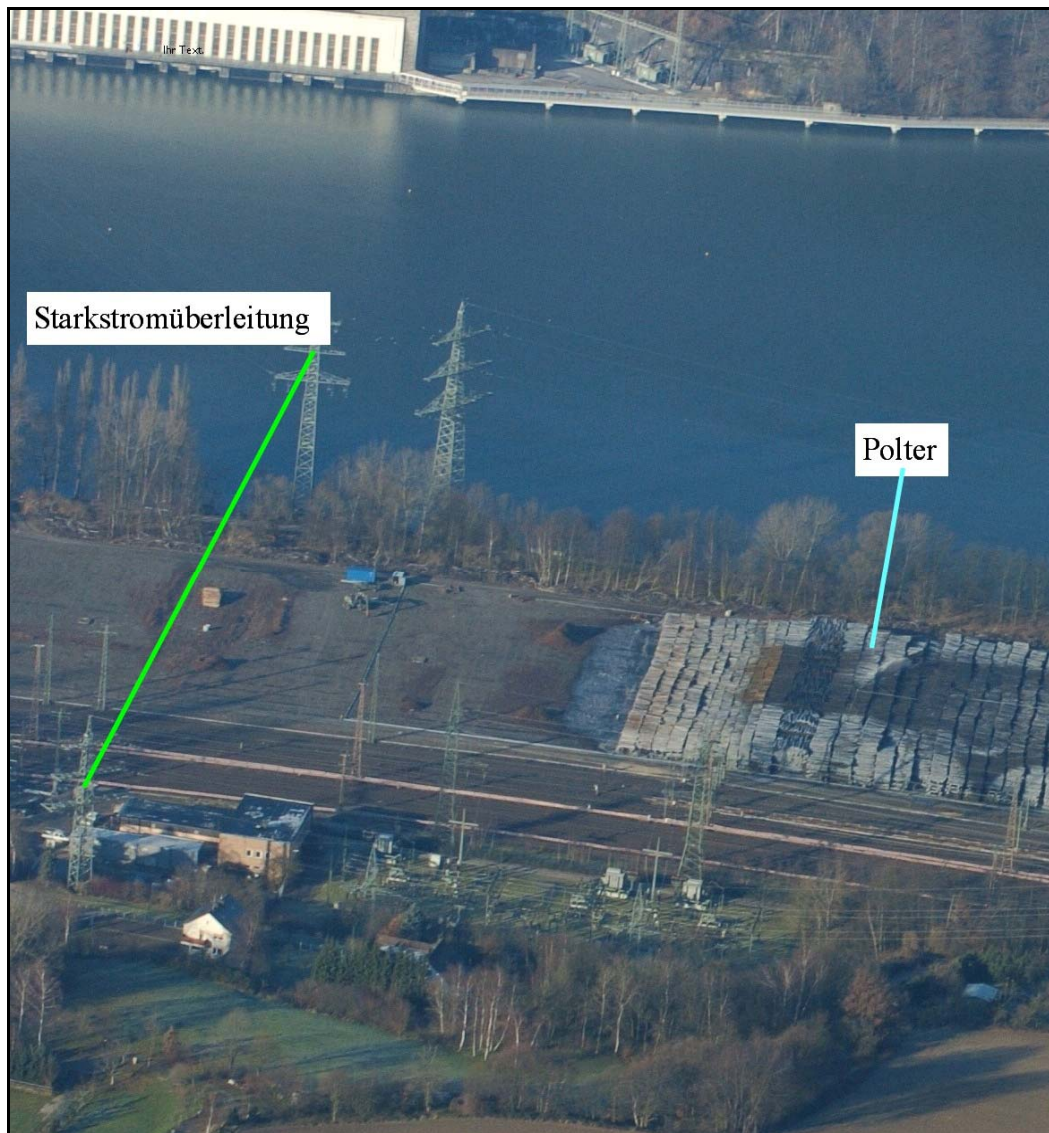
Es wurde eine Karte mit den Tiefenlinien des Hengsteysees, für die Dauer dieser Arbeit, von RUHRVERBAND-2 (2009) zur Verfügung gestellt. Die Tiefenlinien bezogen sich auf ein Stauziel von 96,3 m ü. NN als Nullpunkt.

## 4.3 Einlagerung

### 4.3.1 Einlagerungsverlauf

Die Einlagerung von Baumstämmen auf einem Lagerplatz bzw. an einem bestimmten Ort bezeichnet man als Polterung. Das Polter selbst bezeichnet eine Reihe aufgeschichteter, zumeist gleichlanger, Holzstämmen.

Die Polter des Nasslagers Hengsteysee wurden parallel zur Starkstromüberleitung, und von der seentfernten Seite in Richtung des Ufers des Hengsteysees, aufgeschichtet (Abb. 4.3.1).



**Abbildung 4.3.1: Luftbild eines Teils des Lagerplatzes. Deutlich zu erkennen ist die Lage der Polter (STORA ENSO, 2009).**

Es wurden ausschließlich Fichtenstämme eingelagert. Zum zeitlichen Verlauf der Holzeinlagerung liegen nur Eckdaten aus der Übersichtsskizze zum Stichtag 27.08.2007 (Abb. 4.3.2), ein Auszug aus dem Betriebstagebuch (Anhang B Tab. B. 4) sowie mündliche Aussagen vor. Bis auf wenige Ausnahmen sind für die einzelnen Lagerabschnitte zumeist nur das Datum des Einlagerungsbeginns und das Datum der Fertigstellung bekannt. Die Lagerabschnitte werden im Folgenden als Blöcke oder Querpolter bezeichnet (Abb. 4.3.2).

Das einzulagernde Holz wurde in vordefinierten Längen zu 2 m, 3,20 m und 4,20 m angeliefert. Es wurde nach Stammlänge sortiert eingelagert. Die Polterbreiten entsprachen somit den Stammlängen. Jeder Block wurde mit Poltern gleicher Breite aufgefüllt. Auf Grund dieser Sortierung verblieb ein bis zu 8 m breiter Fahr- und Verladestreifen zwischen den Blöcken. Diese Fahr- und Verladestreifen wurden dann mit Stämmen, in Querrichtung zu den Blöcken, aufgefüllt. Daher werden diese als Querpolter bezeichnet.

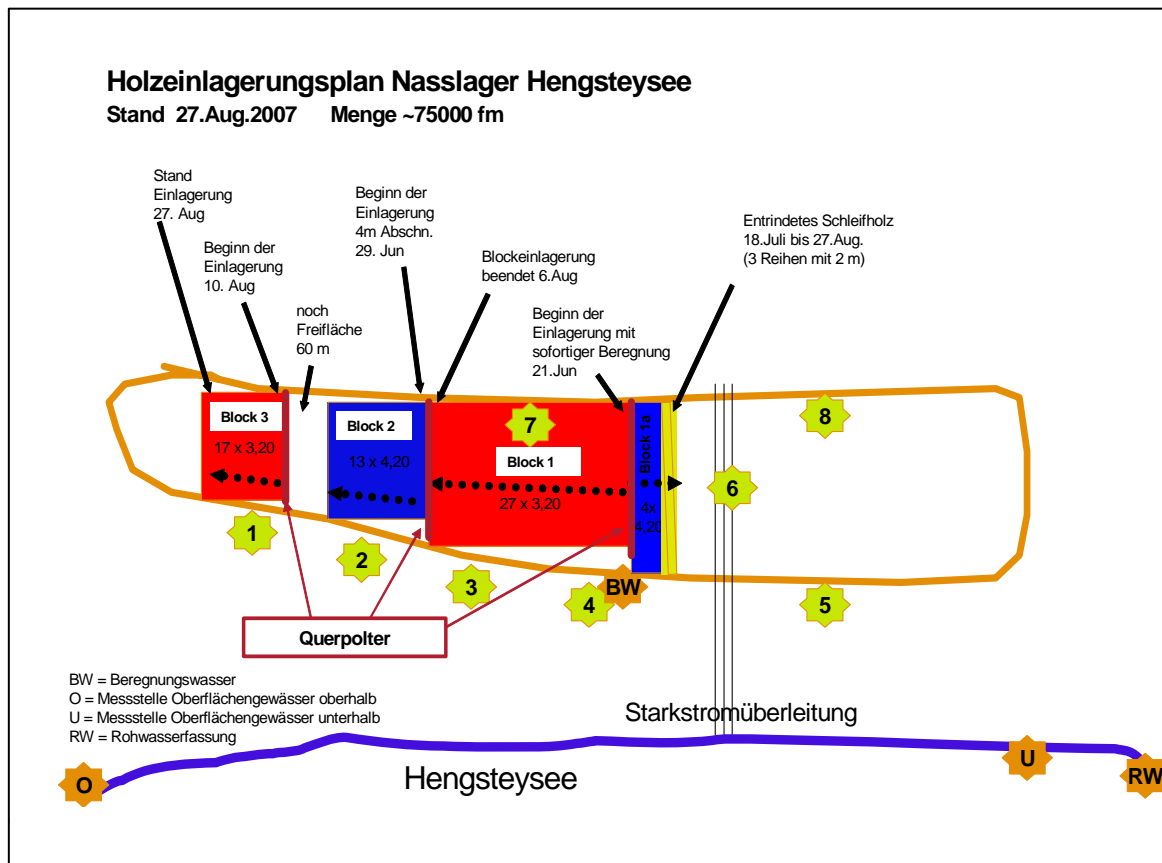


Abbildung 4.3.2: Nicht maßstabsgetreue Übersichtsskizze zum Stand des Einlagerungsverlaufs am Stichtag 27.08.2007. (verändert nach STORA ENSO, 2009).

Mit der Einlagerung wurde am 11.06.2007 begonnen. Bis zum 27.08.2007 waren 3 Polter zu 2 m, 44 Polter zu 3,20 m und 17 Polter zu 4,20 m eingelagert worden. Die Polterhöhe betrug etwa 5,50 m. Am 05.10.2007 war das Holznasslager fast vollständig, nur der Bereich des Querpolters zwischen Block 2 und Block 3 blieb frei. Hier fanden auch die letzten Einlagerungsarbeiten, zwischen dem 13.11. und 16.11.2007, statt.

Nach Abschluss der Einlagerung wurden Luftaufnahmen des Holznasslagers angefertigt. Diese stehen für eine Auswertung zur Verfügung. Eine Beispielaufnahme ist in Abbildung 4.3.3 zu sehen.





**Abbildung 4.3.3: Luftbild des gefüllten Holznasslagers (STORA ENSO, 2009).**

Die Gesamtzahl der Polter sowie die Ausmaße der Querpolter werden mit Hilfe der Luftbilder bestimmt.

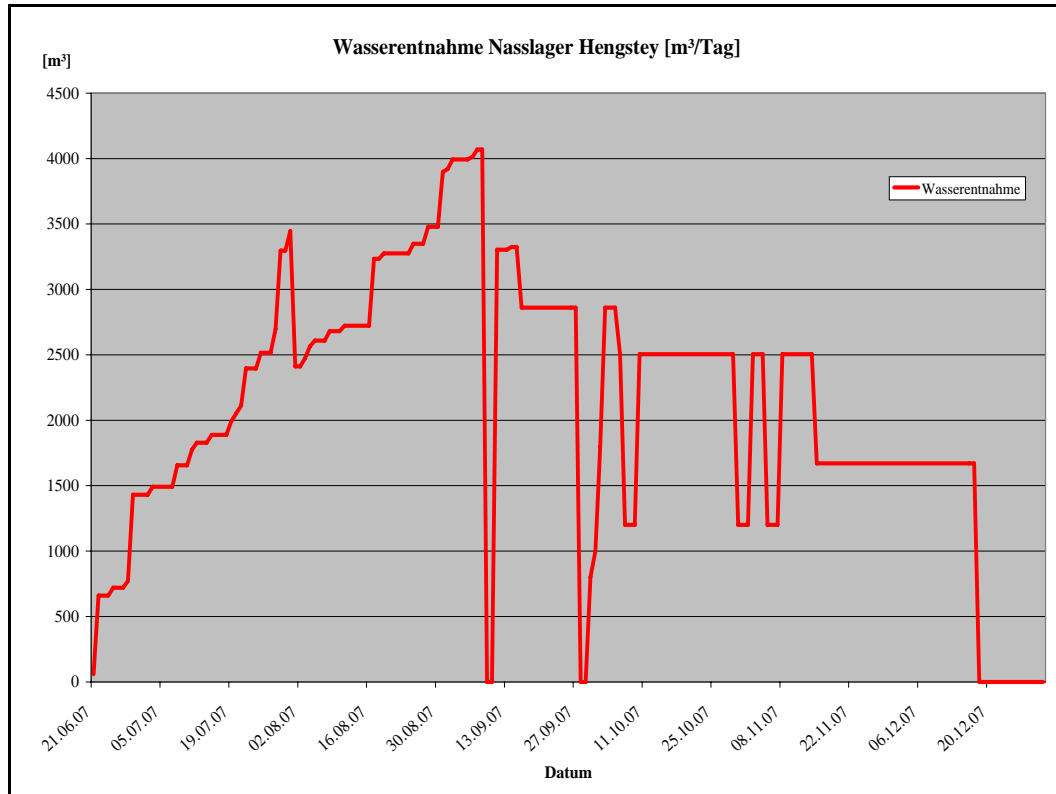
### **4.3.2 Wasserbedarf**

Das zur Beregnung benötigte Wasser wurde aus dem Hengsteysee, über eine dort aufgestellte Pumpe (Abb.4.3.4), bezogen. Die Beregnung selbst erfolgte durch Sektoren-, Kanonen- und Vollkreisregner. Der tägliche Wasserverbrauch wurde über den Stromverbrauch der Seepumpe, die Anzahl der „Regner“ und deren spezifischen Wasserdurchsatz, sowie die Beregnungszeit ermittelt



**Abbildung 4.3.4: Linke Seite: Seepumpe in der Randlage des Hengsteysees. Rechte Seite: Sektorenregner in einem Fahr- und Verladestreifen (STORA ENSO, 2009).**

Der Verlauf des Wasserbedarfs ist als Tagessumme in Abbildung 4.3.5 dargestellt. In den ersten zehn Tagen, vom 11.06. bis 20.06.2007, wurde trocken eingelagert. Tag der ersten Beregnung war der 21.06.2007. Die zu Beginn stark ansteigende Wassermenge ist auf das stetig ansteigende Einlagerungsvolumen zurückzuführen.



**Abbildung 4.3.5: Tagessumme der Wasserentnahme aus dem Hengsteysee (STORA ENSO, 2009).**

Die Nullwerte in der Mitte der Abbildung 4.3.5 zeigen Ausfälle der Seepumpe an. Im Dezember 2007 wurde die Bewässerung wegen der niedrigen Temperaturen und einem Eisanspanzer auf dem Holznasslager eingestellt. Es sind keine Daten zum täglichen Wasserverbrauch pro m² vorhanden.

## 5. Methodik

### 5.1 Abschätzung der Sickerwassermengen

Die unter dem Holznasslager versickernde Wassermenge, Sickerwassermenge (SW) genannt, errechnet sich aus den Komponenten der Berechnungswassermenge (B), dem Niederschlag (N), dem Oberflächenrückhalt (OR) auf den Stämmen und der Verdunstung (V). Diese Bilanz entspricht folgender Formel:

$$SW = B + N - OR - V \quad \text{F 5.1}$$

|    |                        |    |
|----|------------------------|----|
| SW | Sickerwassermenge      | mm |
| B  | Berechnungswassermenge | mm |
| N  | Niederschlag           | mm |
| OR | Oberflächenrückhalt    | mm |
| V  | Verdunstung            | mm |

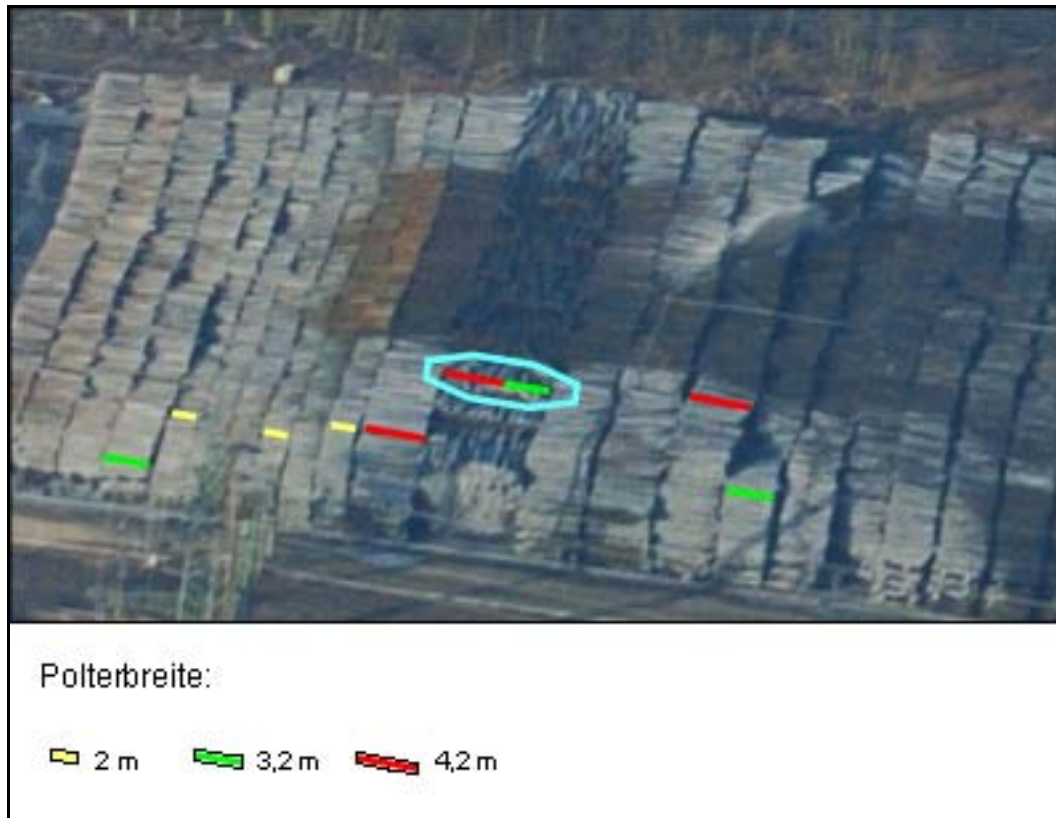
Die Niederschlagswerte können den Daten des DWD (2009) direkt entnommen werden. Den Komponenten B, OR und V gehen verschiedene Berechnungen voraus. Diese werden in den folgenden Kapiteln beschrieben und erläutert.

#### 5.1.1 Einlagerungsverlauf und Berechnungswassermenge

Die Daten zum Wasserbedarf (siehe Kap. 4.3.2) geben lediglich die Tagessumme der Berechnung an. Der Bezug auf eine Fläche ist hierbei nicht gegeben. Daher wurde in einem ersten Schritt der Einlagerungsverlauf rekonstruiert.

Die Höhe (h) und die Breiten der Polter sind dem Kapitel 4.3.1 zu entnehmen. Zur Abschätzung des Einlagerungsverlaufs wurden eine gleichmäßig rechteckige Form des Einlagerungsbereiches, mit einer Breite von 86 m, sowie eine kontinuierlich fortschreitende Einlagerung angenommen. Dabei entspricht die Polterlänge (L) der Breite des Einlagerungsbereiches.

Die Anzahl der eingelagerten Polter wurde aus Luftbilddaufnahmen ermittelt. Die Luftbilder des Holznasslagers sind von guter optischer Qualität und aus verschiedenen Blickwinkeln aufgenommen. Eine Unterscheidung der verschiedenen Polterbreiten, sowie deren Zählung waren sehr gut möglich. Abbildung 5.1.1 zeigt eine Beispieldarstellung.

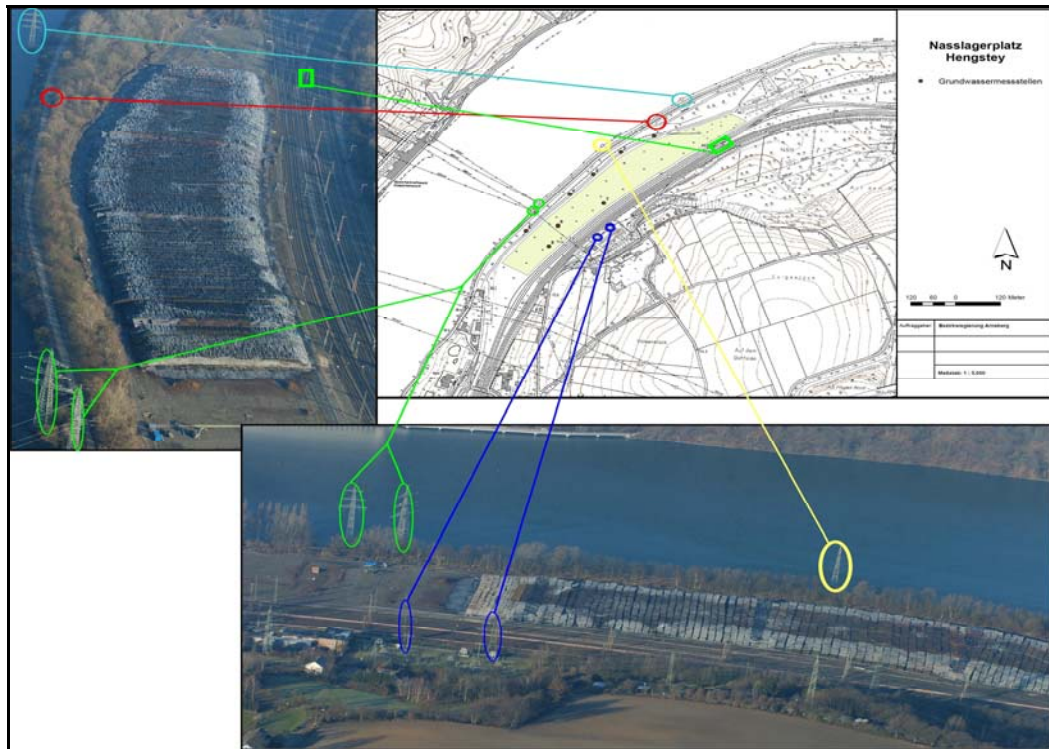


**Abbildung 5.1.1:** Vergrößerung eines Luftbildausschnittes. Die einzelnen Polter sowie deren Ausdehnung sind gut zu unterscheiden (verändert nach STORA ENSO, 2009).

Die Abmaße der Querpolder wurde über einen Größenvergleich bestimmt. In Abbildung 5.1.1 besitzen alle Linien gleicher Farbe dieselbe Ausdehnung. Die entsprechende Reallänge ist über die Polterbreite bekannt. Im Bereich der Querpolder kann man, über die Kombination verschiedener Linien, deren Breite gut abschätzen (eingekreiste Linien in Abb. 5.1.1). Optische Verzerrungen auf Grund des Aufnahmewinkels können vernachlässigt werden, da sie auf alle Elemente einer Luftbildaufnahme gleichermaßen zutreffen.

Auf den Luftbildaufnahmen sind auch markante Punkte der näheren Umgebung zu sehen. Diese sind auf der Grundkarte wieder zu finden (Abb. 5.1.2). Bei solchen Punkten handelte es sich um verschiedene Hochspannungsmasten (blaue, grüne, gelbe Kreise), eine Radwegabzweigung (roter Kreis) und die Gabelung der Bahnlinie (grüner Kasten). Auf diese Weise war es möglich die Länge des mit Holz überlagerten Bereichs, und die Lage zu den Brunnen, zu bestimmen. Auch hier können die verschiedenen Aufnahmewinkel bei der Bestimmung der Abstände vernachlässigt werden. Die tatsächlichen Abstände der markanten Punkte sind durch die Grundkarte bekannt, und können so auf die Abstände auf den Luftbildaufnahmen übertragen werden.





**Abbildung 5.1.2:** Luftbildaufnahmen und Grundkarte des Geländes. Als markante Punkte eingetragen sind Hochspannungsmasten sowie eine Radweg- und Bahnliniengabelung (verändert nach STORA ENSO, 2009).

Zur Validierung der Ergebnisse wurde die aus der Grundkarte abgeleitete Gesamtausdehnung des Holznasslagers mit der Summe der Polter- und Querpolterbreiten verglichen. Die Rekonstruktion des Einlagerungsverlaufs erfolgte nun durch die Zusammenführung der bekannten Daten, mit den abgeschätzten Werten. Um anschließend B errechnen zu können, dividiert man den täglichen Wasserbedarf durch die akkumulierte Fläche des entsprechenden Tages.

### 5.1.2 Benetzungsverlust

Es wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass zu Beginn der Beregnung die Oberfläche der Baumstämme trocken ist. Ein Abfluss kann erst dann erfolgen, wenn die Oberfläche vollkommen benetzt ist, und alle Senken mit Wasser gefüllt sind. Dieser Oberflächenrückhalt kann analog dem Anfangsverlust der Sickerwasserberechnung ungesättigter Böden gesehen werden. Dementsprechend wird diese Wassermenge nur in der Anfangsphase der Beregnung eines Polters zurückgehalten. Ist die Oberfläche gesättigt, kommt das weitere Beregnungswasser zum Abfluss. Der Benetzungsverlust, durch den OR auf den Stämmen, ist von der Struktur deren Rinde abhängig. Je glatter die Rinde, desto weniger OR ist zu erwarten. Ist der Stamm geschält ist der OR am geringsten.

Die bisherige Forschung befasste sich in erster Linie mit den Interzeptionsverlusten von Wäldern oder einzelnen Bäumen, jedoch nicht mit der Interzeption von liegenden Stämmen. Daher waren Quellen zu Messungen des OR im Verlauf dieser Arbeit nicht zu finden. Um die fehlenden Literaturwerte zu ersetzen wurde ein Laborversuch zur Ermittlung des OR durchgeführt.

Ein wichtiges Merkmal der Fichtenrinde ist eine Änderung der Struktur mit zunehmendem Alter. Die Rinde von jüngeren Fichten ist rötlich, und weist eine glatte Oberfläche mit wenig Struktur auf. Mit zunehmendem Alter des Baumes verfärbt sich die Rinde ins graubraune und wird borkiger, mit unregelmäßiger Schuppenbildung. Für den Versuch wurden sechs Rindenstücke unterschiedlicher Größe, von lebenden Fichtenstämmen abgelöst, vor Ort nummeriert, und der Umfang des Ursprungsbaumes gemessen. Der Umfang der Fichtenstämmе lag zwischen 60 cm und 255 cm (Tab. 5.1.1). Dies entspricht einem Durchmesser von etwa 20 cm bis 80 cm. Die Abschälung der Rindenstücke erfolgte bei trockener Witterung am 03.05.2010.

**Tabelle 5.1.1: Übersicht zu den Eigenschaften der Rindenstücke.**

| Nr. | Umfang des Ursprungsbaumes [cm] | Abmaße der Rindenstücke [cm] | Fläche [m <sup>2</sup> ] |
|-----|---------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| 1   | 255                             | 31.3 x 13.7                  | 0.042                    |
| 2   | 124                             | 27.3 x 9.2                   | 0.025                    |
| 3   | 198                             | 20.8 x 13.3                  | 0.028                    |
| 4   | 62                              | 18.3 x 10.2                  | 0.019                    |
| 5   | 198                             | 20.3 x 14.2                  | 0.029                    |
| 6   | 83                              | 14.1 x 10                    | 0.014                    |

Die Versuchsdurchführung fand am 04.05.2010 statt. In der Zwischenzeit lagerte die Rinde in einem luftdicht verschlossenen Behälter. Sowohl bei der Abschälung, als auch während der Lagerung der Rindenstücke herrschten Temperaturen zwischen 12°C bis 15 °C.

Die Versuchsanordnung und Durchführung wird im Folgenden beschrieben. Zu Beginn wurde die Nummer, sowie das Trockengewicht des Rindenstückes notiert. Nach dem Einspannen der Rinde in das Klemmstück der Haltevorrichtung (Abb. 5.1.3) erfolgte die Benetzung der Außenseite mit Leitungswasser. Es wurde auf eine vollständige Benetzung mit deutlicher Abflussbildung geachtet. Dabei blieb die Innenseite trocken. Zum Abtropfen verblieb die Rinde solange in der Halterung, bis eine tropffreie Zeit von einer Minute erreicht war.



**Abbildung 5.1.3: Versuchsanordnung des Laborversuchs zum Benetzungsverlust.**

Nach der Abnahme aus der Halterung erfolgte die Wägung. Dazu wurde das Klemmstück, samt Rinde, aus der Halterung gelöst, und in das Wägegefäß verbracht. Erst im Wägegefäß erfolgte die Abnahme des Klemmstücks. Die Abbildung 5.1.3 zeigt nicht das Wägegefäß, sondern eine separate Abtropfschale. Dieser Versuch wurde in der gleichen Anordnung und Reihenfolge für jedes Rindenstück wiederholt.

Die vollständige Dokumentation zum Laborversuch ist im Anhang C 1. Laborversuch nachzulesen.

Die hochgerechnet auf einem Quadratmeter Rinde zurückgehaltene Wassermenge wurde gemittelt. Zur Errechnung des OR wird des Weiteren die Gesamtoberfläche eines Einheitspolters benötigt. Der Einheitspolter hat eine Grundfläche von 1 m<sup>2</sup> mit einer Höhe von 5,5 m. Alle Stämme des Einheitspolters besitzen einen Durchmesser von 0,5 m.

### 5.1.3 Verdunstung

Auf dem Holznasslager fand eine stetige Beregnung statt. Eine unbegrenzte Wassernachlieferung ist eine wichtige Voraussetzung für eine potenzielle Verdunstung. Auf dem Gelände wurde die Vegetation entfernt. Die Oberfläche der Baumstämme kann als unbewachsene Oberfläche betrachtet werden. Unter diesen Bedingungen ist die Berechnung von V über eine verhältnismäßig einfache Formel möglich.

Im Allgemeinen wird die potenzielle Verdunstung mit der Formel nach HAUDE (HÖLTING, 1996) berechnet:

$$ET_{\text{pot}} = x * E (1 - (f / 100)) \quad \text{F 5.2}$$

|                   |  |        |
|-------------------|--|--------|
| $ET_{\text{pot}}$ | potenzielle Evapotranspiration           | [mm/d] |
| $x$               | monatlich wechselnde Korrektur-Konstante |        |
| $E$               | Sättigungsdampfdruck der Luft            | [hPa]  |
| $f$               | rel. Luftfeuchte                         | [%]    |

Die monatliche Korrektur-Konstante gilt unter der Annahme eines vegetationsfreien Bodens, bei einem Grundwasserstand von 40 cm unter Geländeoberkante. Die Bedingungen auf dem Holznasslager ähneln jedoch mehr einer freien Wasseroberfläche.

Daher wird hier zur Berechnung der potenziellen Verdunstung die Formel nach ALBRECHT (1950) verwendet. Diese, ebenfalls sehr einfache, Formel ist mit Werten aus den Meteorologischen Jahrbüchern zu berechnen. In der Formel berücksichtigt sind die Luftfeuchte, die Lufttemperatur und die Windgeschwindigkeit:

$$V = F * (E - e) \quad \text{F 5.3}$$

|     |                                   |       |
|-----|-----------------------------------|-------|
| $V$ | Verdunstung                       | [mm]  |
| $F$ | variabler Proportionalitätsfaktor |       |
| $e$ | Dampfdruck                        | [hPa] |

Der Proportionalitätsfaktor (F) ist abhängig von der Windgeschwindigkeit (u). Es gelten folgende Werte für u:

$$\begin{aligned} u > 1 \text{ m/s, } F &= 0,53; \\ u < 1 \text{ m/s, } F &= 0,134 + 0,11 * u \end{aligned}$$

Die Windstärke in BFT beschreibt einen Wertebereich der Windgeschwindigkeit. Dieser Wertebereich wird in verschiedenen Veröffentlichungen unterschiedlich angegeben (DWD, 2009). Dies stellt soweit kein Problem für die Berechnung der Formel 5.3 dar, da hier nur relevant ist, ob u größer oder kleiner 1 m/s ist. Lediglich für Werte von 1 BFT können Unklarheiten auftreten. Laut Beaufort-Skala-1 (Anhang C Tab. C. 1) ist 1 BFT gleich 1 m/s, in der Beaufort-Skala-2 (Anhang C Tab. C. 2) entspricht 1 BFT dem Wertebereich  $0,3 \text{ m/s} \leq u \leq 1,5 \text{ m/s}$ .

Davon betroffen sind 20 der insgesamt 176 Berechnungstage. Diese 20 Tage bilden keinen zusammenhängenden Zeitraum, sondern sind unregelmäßig verteilt. Nach genauerer Betrachtung der entsprechenden Verdunstungs- und Berechnungshöhen (Anhang C Tab. C. 3) haben selbst die höchsten Verdunstungsverluste an 15 dieser 176 Tagen, einen zu vernachlässigenden Einfluss auf die SW. An den verbleibenden 5 kritischen Tagen wird das arithmetische Mittel, aus dem niedrigsten und höchsten Verdunstungswert, als Kompromiss angenommen. Von diesem Mittelwert ist die geringste Abweichung zum tatsächlichen Wert zu erwarten (Anhang C Tab. C. 4).

In Anbetracht der Länge des Beobachtungszeitraumes, und der vorherigen Ausführungen, wird zur späteren Berechnung der SW, an allen 20 Tagen, der mittlere Verdunstungswert eingesetzt.

Der Sättigungsdampfdruck ist der Druck, den der Wasserdampf ausüben würde, wenn die Luft vollkommen wassergesättigt wäre. Steigt die Lufttemperatur, nimmt das Wasseraufnahmevermögen der Luft zu. Diesen Zusammenhang beschreibt die Formel von MAGNUS (ZMARSLY, 1999). Man unterscheidet dabei zwischen dem E über Wasser- und über Eisoberflächen. Für Wasser gilt:

$$E = 6,1 \text{ hPa} * 10^{(7,5 * t) / (t + 237,2 \text{ °C})} \quad \text{F 5.4}$$

t                      Lufttemperatur                      [°C]

Der in Formel 5.3 verwendete Dampfdruck wurde unter Zuhilfenahme der relativen Luftfeuchte (f), aus den Klimadaten (Kap. 4.2.1), berechnet. Mit der relativen Luftfeuchte wird der augenblickliche Wasserdampfanteil in der Luft zum Sättigungswert, bei gegebener Temperatur angegeben. Ihre Werte werden in % angegeben. Sie berechnet sich aus folgender Formel (ZMARSLY, 1999):

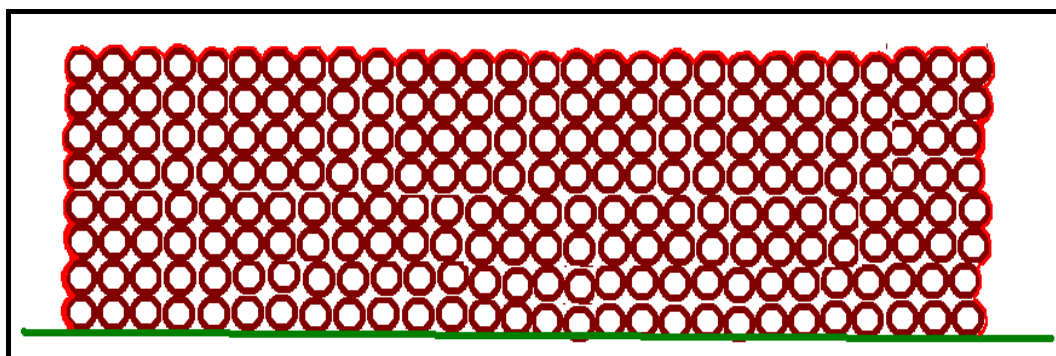
$$f = e/E * 100 \quad \text{F 5.5}$$

Stellt man Formel 5.5 nach e um ergibt sich:

$$e = f * E / 100 \quad \text{F 5.6}$$

Da bei der Beregnung eine stetige und vollständige Befeuchtung der Baumstämme zu gewährleisten ist, wird ein Holznasslager nicht nur von oben, sondern auch an den Stirnseiten beregnet. Bei dieser seitlichen Beregnung wird zwangsläufig ein etwa 1,50 m breiter Randstreifen um das Holzlager herum mit vernässt. Auf Grund der Anordnung, sowie der Betriebsweise dieser am Rand aufgestellten Regner, ist auf dem Randstreifen von einem etwas niedrigeren Wert für B auszugehen als auf dem eigentlichen Holznasslager. Auch nimmt im Verlauf der zügigen Einlagerung der Anteilswert der Fläche des Randstreifens, im Verhältnis zur Oberfläche des Holznasslagers, rasch ab. In der Summe betrachtet wird somit kein wesentlicher Einfluss vom Randstreifen ausgegangen sein. Daher wird dieser Bereich nicht gesondert betrachtet.

Weiterhin ist zu beachten, dass die Verdunstungsfläche des Holznasslagers größer ist, als die reine Grundfläche. Im Inneren des Holznasslagers sinkt die Temperatur stark ab, und der Wind kann nicht zum Luftmassenaustausch beitragen. Daher ist anzunehmen, dass die dortige Luft mit Wasserdampf gesättigt ist. Somit wird nur die äußere Fläche als verdunstungswirksam berücksichtigt. Die Vergrößerung der Oberfläche kann über einen Flächenfaktor ( $F_f$ ) ausgedrückt werden. Dieser ergibt sich aus den Abmaßen der Polter und dem Umfang der Stämme, sowie deren Oberflächenstruktur. Im Rahmen dieser Diplomarbeit kann der  $F_f$  nur vereinfacht ermittelt werden. Hierbei sind annähernd gleichförmige, zylindrische Stämme aufeinander geschichtet (Abb. 5.1.4).



**Abbildung 5.1.4:** Schematische Darstellung eines Polters. Die verdunstungswirksame Oberfläche ist rot markiert.

An den Außenseiten ist jeweils nur die Hälfte der Zylinderoberfläche verdunstungswirksam. Diese wellige Oberfläche errechnet sich laut Tabelle. 5.1.2. Der Durchmesser eines Stammes hat nur eine geringfügige Auswirkung auf den  $F_f$ . Der gemittelte Wert beläuft sich auf 1,75. Es ist jedoch davon auszugehen, dass dieser Wert die tatsächliche Oberflächenvergrößerung unterschätzt. Eine derart gleichförmige Oberflächenstruktur kann auf dem Holznasslager nicht angetroffen werden. Aststummel und Unebenheiten der Rinde vergrößern die Oberfläche noch zusätzlich. Um dieser Begebenheit teilweise Rechnung zu tragen, wird der  $F_f$  nochmals mit 1,75 multipliziert. Dabei liegt ebenfalls der Gedanke einer welligen, halbkreisförmigen Oberflächenvergrößerung, auf jedem Stamm, zu Grunde. Daraus ergibt sich nun der endgültige  $F_f$  mit einem Wert von 3,06. Eine weiterführende Validierung dieser Faktoren ist im Rahmen dieser Diplomarbeit nicht möglich.

Tabelle 5.1.2: Berechnung des Flächenfaktors.

| Berechnung des Flächenfaktors  |       |                     |              |                    |             |       |       |      |
|--|-------|---------------------|--------------|--------------------|-------------|-------|-------|------|
| <b>Durchmesser: D</b>  |       |                     |              |                    |             |       |       |      |
| <b>Radius: r</b>   |       |                     |              |                    |             |       |       |      |
| <b>Polterlänge: L</b>  |       |                     |              |                    |             |       |       |      |
| <b>Polterhöhe: h</b>   |       |                     |              |                    |             |       |       |      |
| <b>Halbkreisumfang: <math>U = r * \pi</math></b>                             |       |                     |              |                    |             |       |       |      |
| <b>Anzahl Stämme längs bzw. hoch = Polterlänge bzw. (2 * Polterhöhe) / D</b> |       |                     |              |                    |             |       |       |      |
| <b>Gesamtzahl Stämme = Anzahl Stämme hoch + Anzahl Stämme längs - 2</b>      |       |                     |              |                    |             |       |       |      |
| <b>Flächenfaktor: <math>Ff = (U * \text{Gesamtzahl Stämme}) / L</math></b>   |       |                     |              |                    |             |       |       |      |
| D [m]  | L [m] | Anzahl Stämme längs | 2 * Höhe [m] | Anzahl Stämme hoch | Ges. Stämme | r [m] | U [m] | Ff   |
| 0.2  | 86    | 430.00              | 11           | 55.00              | 483.00      | 0.1   | 0.31  | 1.76 |
| 0.3  | 86    | 286.67              | 11           | 36.67              | 321.33      | 0.15  | 0.47  | 1.76 |
| 0.4  | 86    | 215.00              | 11           | 27.50              | 240.50      | 0.2   | 0.63  | 1.76 |
| 0.5  | 86    | 172.00              | 11           | 22.00              | 192.00      | 0.25  | 0.79  | 1.75 |
| 0.6  | 86    | 143.33              | 11           | 18.33              | 159.67      | 0.3   | 0.94  | 1.75 |
| 0.7  | 86    | 122.86              | 11           | 15.71              | 136.57      | 0.35  | 1.10  | 1.75 |
| 0.8  | 86    | 107.50              | 11           | 13.75              | 119.25      | 0.4   | 1.26  | 1.74 |
| 0.9  | 86    | 95.56               | 11           | 12.22              | 105.78      | 0.45  | 1.41  | 1.74 |
| 1  | 86    | 86.00               | 11           | 11.00              | 95.00       | 0.5   | 1.57  | 1.74 |
| 1.1  | 86    | 78.18               | 11           | 10.00              | 86.18       | 0.55  | 1.73  | 1.73 |
| <b>Ff wird auf 3,06 heraufgesetzt.<br/>Erläuterung siehe Fliesstext.</b>     |       |                     |              |                    |             |       |       |      |

Für den Randstreifen gilt diese erhöhte Verdunstung nicht. Eine Berechnung der täglichen Verdunstungsverluste ist nun, wie in Tabelle 5.1.3 beschrieben, möglich.

Tabelle 5.1.3: Berechnung der Verdunstung auf dem Randstreifen und, mit vergrößerter Fläche, auf dem Holznasslager.

| Datum      | t    | f  | BFT | F    | E     | e     | V <sub>Grundfläche</sub> [mm] | Ff   | V <sub>Holznasslager</sub> [mm] |
|------------|------|----|-----|------|-------|-------|-------------------------------|------|---------------------------------|
| 18.07.2007 | 22.8 | 42 | 2   | 0.53 | 27.73 | 11.65 | 8.53                          | 3.06 | 26.09                           |
| 19.07.2007 | 22.1 | 46 | 1   | 0.35 | 26.58 | 12.23 | 5.02                          | 3.06 | 15.37                           |
| 20.07.2007 | 25   | 59 | 2   | 0.53 | 31.65 | 18.68 | 6.88                          | 3.06 | 21.05                           |
| 21.07.2007 | 23.5 | 31 | 2   | 0.53 | 28.93 | 8.97  | 10.58                         | 3.06 | 32.38                           |
| 22.07.2007 | 22   | 34 | 3   | 0.53 | 26.42 | 8.98  | 9.24                          | 3.06 | 28.28                           |
| 23.07.2007 | 20.7 | 50 | 2   | 0.53 | 24.40 | 12.20 | 6.46                          | 3.06 | 19.78                           |



## 5.2 Gradientenermittlung

Die Gradienten des Grundwassers werden für jeden Beprobungstag des Monitoringplans ermittelt. Die Grundwasserstände werden dabei zueinander, und zum Seepegel in Beziehung gesetzt. Zu diesem Zweck erfolgt in einem ersten Schritt eine Aufbereitung der Stundenmittelwerte des Seepegels. Danach werden die gemessenen Grundwasserstände entlang verschiedener Transsekten, zusammen mit dem mittleren, täglichen Seepegel, in einer Graphik aufgetragen.

### 5.2.1 Pegelstände von Grundwasser und See

Das arithmetische Mittel der stündlichen Pegelwerte eines Tages ergibt den mittleren, täglichen Seepegel, der im Weiteren als Tagespegel angesprochen wird.

Innerhalb des Beobachtungszeitraumes ist eine Änderung im Verhalten der Pegelwerte zu erkennen. Zu Beginn des Beobachtungszeitraumes war das PSKW wegen Revisionsarbeiten stillgelegt. Nach dem 06.09.2007 wurde der Betrieb des PSKW wieder aufgenommen. Dies ist an einer deutlichen Veränderung sowohl in der Amplitude der Schwankungen, als auch im Niveau des Seepegels zu erkennen (Abb. 5.2.1). Der Beobachtungszeitraum kann somit in einen Abschnitt ohne PSKW Betrieb (NBA 1) und einen Abschnitt mit PSKW Betrieb (NBA 2) unterteilt werden. Die durchschnittliche Pegelhöhe der beiden Abschnitte wurde ebenfalls über eine einfache Mittelung der stündlichen Werte ermittelt.

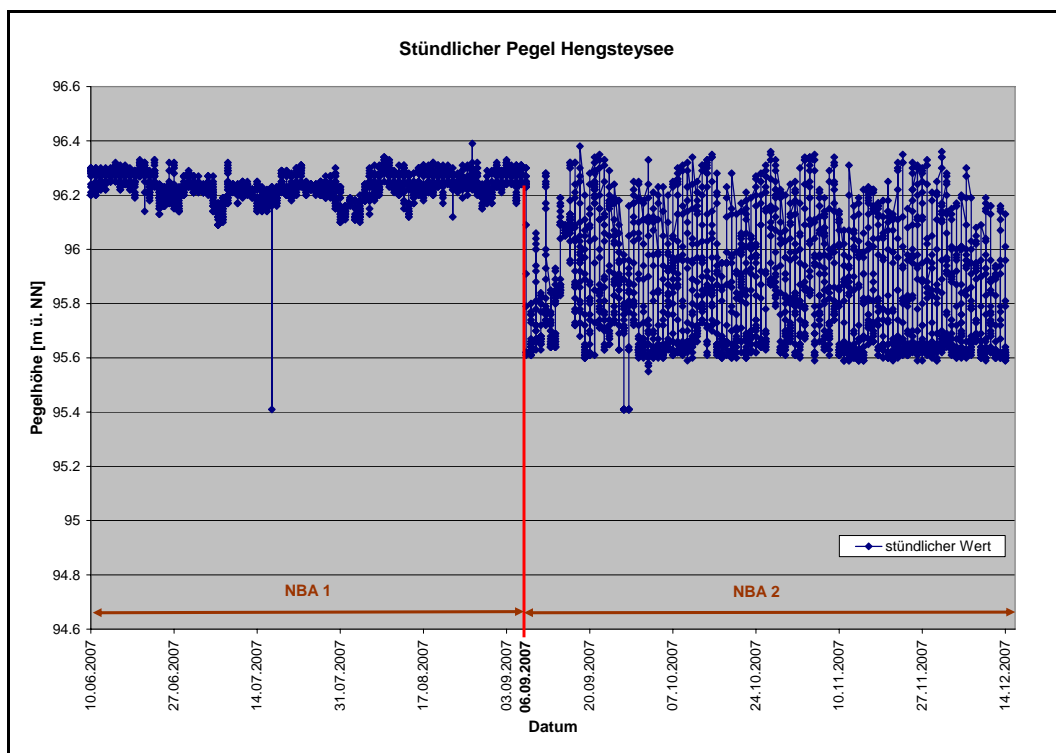


Abbildung 5.2.1: Verlauf der stündlichen Pegelwerte des Hengsteysees im Beobachtungszeitraum.

Der Tagespegel und die beobachteten Werte der GWM wurden in einer Graphik zusammengefasst. Dies erlaubte einen ersten Überblick zu den Strömungsverhältnissen im Untergrund sowie zum Verhalten des Grundwassers.

Auch werden mögliche Reaktionen der GWM auf die SW betrachten. Hierzu erfolgte ebenfalls eine gemeinsame Darstellung der entsprechenden Werte.

## 5.2.2 Transsekten

Zur besseren Erfassung und Darstellung der Grundwasserfließrichtung werden die beobachteten Grundwasserstände entlang drei verschiedener Transsekten (Abb. 5.2.2) aufgetragen.

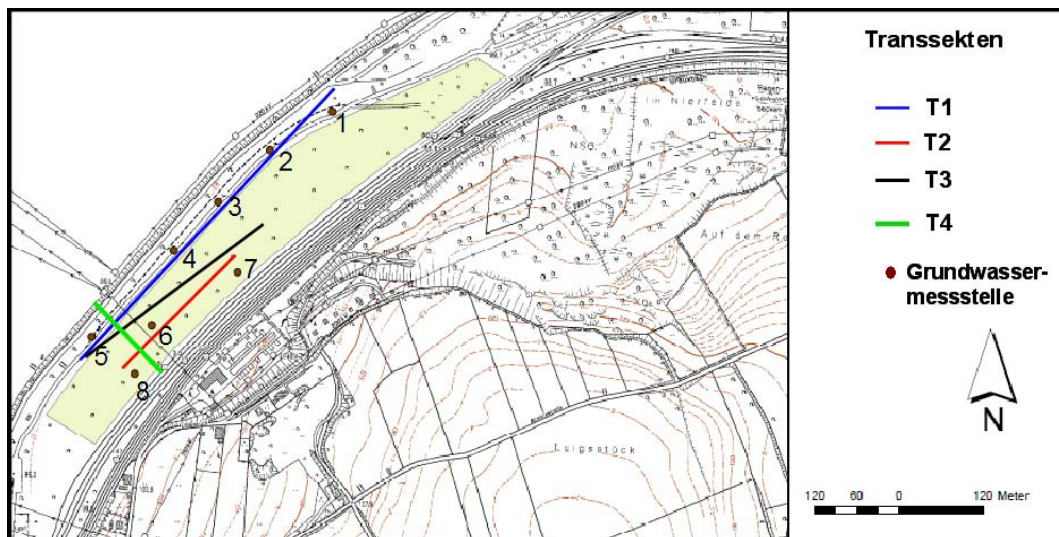


Abbildung 5.2.2: Lage der Transsekten auf dem Gelände (Grundkarte aus STORA ENSO, 2009).

Transsekte 1 (T1) erfasst die GWM 1 bis GWM 5, T2 betrachtet die GWM 7, 6, 8, und auf T3 werden die GWM 3, 7, 4, 6, 5 in dieser Reihenfolge aufgetragen. Zum Seeufer orthogonal verläuft T4, mit den GWM 5, 6 und GWM 8. In der Graphik der Transsekten wird ebenfalls der Tagespegel eingetragen (Abb. 5.2.3). Damit ist auch der Gradient zum See ersichtlich.

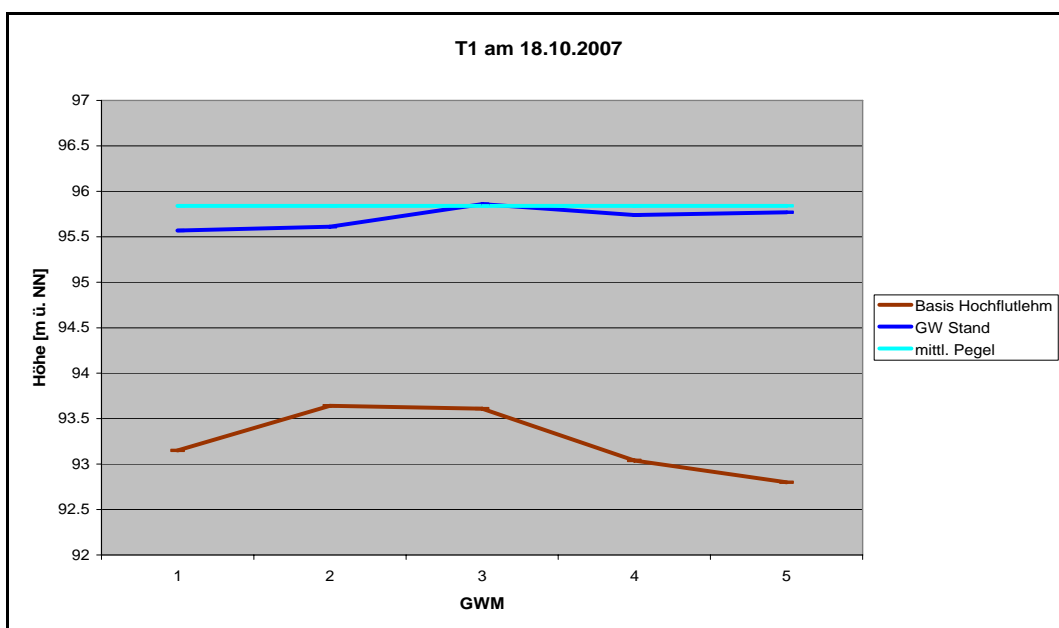


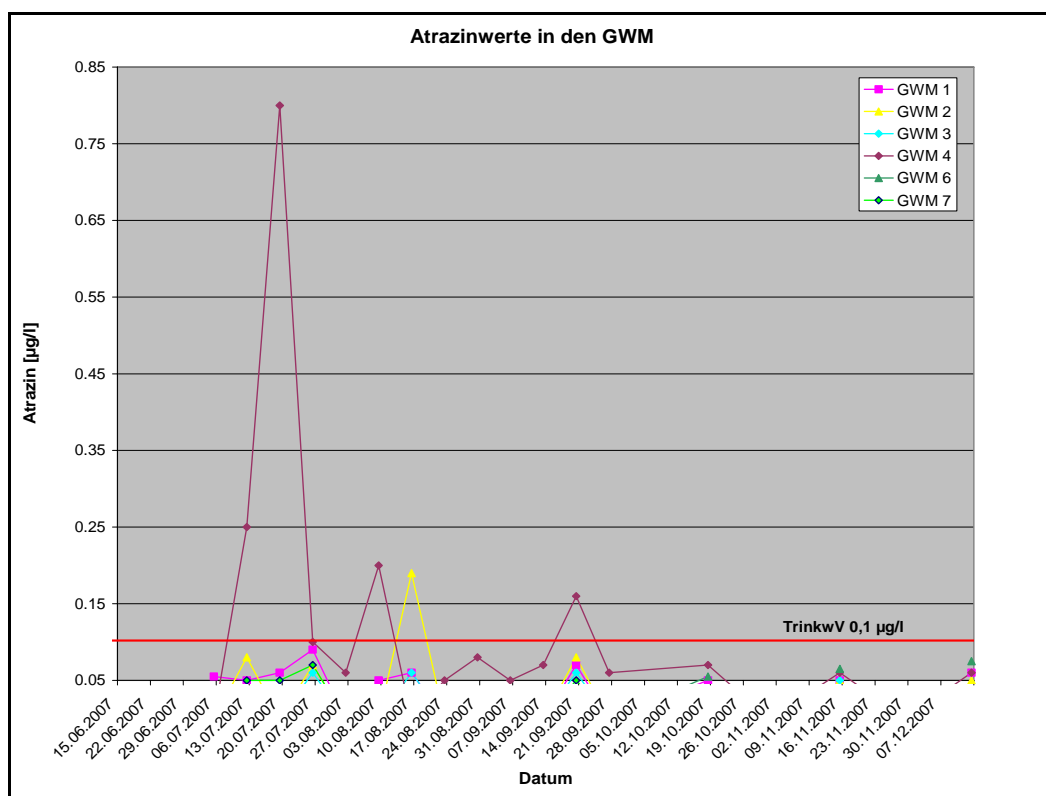
Abbildung 5.2.3: Darstellung der Transsekte 1 und des Tagespegels am 18.10.2007.



Die Basis des Hochflutlehms ist zur besseren Orientierung im Untergrund ebenfalls dargestellt. Die entsprechenden Werte können aus FLUHME (2007) entnommen werden. Diese Gradientengraphik wurde für alle Beprobungstermine und Transsekte erstellt.

### 5.3 Atrazinausträge

Im Oberflächenwasser und im BW, sowie in den GWM 5 und GWM 8 gab es keine Befunde auf Atrazin. Daher sind diese Messstellen in den folgenden Betrachtungen nicht eingeschlossen. In der Abbildung 5.3.1 sind die beobachteten Werte der betroffenen GWM eingetragen.



**Abbildung 5.3.1: Verlauf der Atrazinwerte in den betroffenen GWM.**

Eine Überschreitung des Geringfügigkeitsschwellenwertes laut TrinkwV (2001) und LAWA (2004) von 0,1 µg/l trat nur in wenigen Fällen auf.

Aus der Gesamtliste der Parameter und Stoffe werden im Rahmen dieser Arbeit nur einige wenige näher betrachtet. Mögliche Zusammenhänge zwischen dem Auftreten von Atrazin und den erhöhten SW, sowie eingetragener Stoffe aus dem Holznasslager werden überprüft. Hierzu werden die Parameterverläufe von DOC, TOC, dem pH-Wert, der Lf, der Wassertemperatur, und der Trübung, sowie der SW und der Grundwasserstände in den GWM näher betrachtet. Es erfolgt jeweils eine graphische Auswertung. Diese einfache Darstellungsform wird gewählt, da sich hier für gewöhnlich erste Hinweise auf mögliche Abhängigkeiten ergeben.

Des Weiteren werden die möglichen Eintragswege in die Trinkwassergewinnungsanlage näher betrachtet. Alle Erkenntnisse aus den voran gegangenen Kapiteln sollen hier eingang finden.

## 5.4 Grundwassermodellierung mit Visual MODFLOW

Grundwassermodelle können zum Verständnis der den Grundwasserfluss kontrollierenden Parameter beitragen. Visual MODFLOW (WATERLOO, 2003) ist ein Programm zur Simulation der Grundwasserflüsse in einem Modellgebiet. Die Lösungsalgorithmen der Strömungsgleichung basieren auf der Finite-Differenzen-Methode. Es verfügt über eine graphische Benutzeroberfläche, welche die Erstellung, Bearbeitung und Ausgabe von Strömungs- und Transportmodellen vereinfacht. Das Programm ist auf die Modellierung der gesättigten Zone ausgelegt, und kann für ungesättigte Strömungen nicht verwendet werden.

Die Eingabe von Landkarten kann entweder über .DXF Dateien, oder .BMP Dateien erfolgen. Bei der Eingabe über .BMP Dateien erfolgt eine Aufforderung zur Georeferenzierung, welche über eine Eingabemaske erfolgen kann. Die Schichtgrenzen können aus .GRD Dateien direkt eingelesen, oder per Hand für jede einzelne Zelle bestimmt werden. Alle weiteren Eingangsdaten können aus ASCII Tabellen eingelesen, oder ebenfalls im Modell selbst einzeln eingegeben und verändert werden.

Mit Hilfe von Visual MODFLOW ist sowohl eine stationäre, als auch eine instationäre Simulation ausführbar. Im stationären Fall genügt eine einzige Datenreihe. Deren Werte dienen als Ausgangspunkt und werden in der weiteren Berechnung als stetig angenommen. Die sich so ergebenden Strömungsverhältnisse werden dementsprechend dargestellt.

Beim instationären Fall werden alle beobachteten Veränderungen berücksichtigt. Die ausgegebene, piezometrische Landkarte zeigt dann die sich mit der Zeit ergebenden Veränderungen an. Im Fall beider Simulationsarten vergleicht das Programm die beobachteten und die berechneten Werte miteinander. So ist eine Überprüfung des Modells auf seine Richtigkeit möglich.

Je detailgetreuer ein Modell ist, desto umfangreicher sind die benötigten Daten. Auch wird das Modell in seinen Reaktionen auf Veränderungen immer komplexer und der erforderliche Arbeitsaufwand steigt enorm an. Dies hat nicht unbedingt genauere Ergebnisse zur Folge. Eine hohe Komplexität kommt zwar unter Umständen im Detail der Natur sehr nahe, birgt jedoch auch sehr viel mehr Fehlerquellen in sich. Daher sollte im Vorfeld eine Vereinfachung der Gegebenheiten erfolgen. Dabei müssen die relevanten, das Verhalten bestimmende, Faktoren herausgearbeitet, und in das Modell eingebracht werden. Vernachlässigbare Faktoren können unter Umständen gänzlich entfallen.

Die Bedingungen des Beobachtungsgeländes werden für das hier erstellte Modell stark vereinfacht. Eine starke Vereinfachung ist hier sowohl sinnvoll, als auch gerechtfertigt, da das Modell nicht zur genauen Abbildung der tatsächlich beobachteten Punktwerte dient. Es soll lediglich zum besseren Verständnis der allgemeinen Strömungsverhältnisse beitragen.

Die Simulation der Grundwasserstände wird für die natürliche Grundwasserneubildungsrate (GWNB), und für zwei erhöhte GWNB erfolgen. Die Resultate unter verschiedenen Neubildungsraten helfen bei der Einschätzung der tatsächlichen Eigenschaften des Untergrundes. Alle Vereinfachungen werden im Folgenden erläutert, oder basieren auf einem im Vorfeld erstellen Konzeptmodell (Anhang C 2. Konzeptmodell). Dieses befasst sich mit der Hydrologie und der Geologie des Gebietes, sowie den beobachteten Grundwasserständen in den GWM.

### 5.4.1 Modelleinstellungen

Das Raster wurde über eine Fläche von 800 x 280 m, mit 20 x 20 Zellen gelegt (Abb. 5.4.1). Daraus ergibt sich eine Zellausdehnung von 40 x 14 m. In der Tiefe (Mächtigkeit 13 m) ergeben sich 3 Schichten:

- Layer (Ly) 1. Aquifer: Auffüllschicht, 380 cm, **GOK 99,2** m ü. NN
- Layer (Ly) 2. Aquitard oder Aquiklude: Hochflutlehmdecke, 240 cm
- Layer (Ly) 3. Aquifer: Alluviale Sande und Kiese, 680 cm

In Ly 1 ist das Grundwasser ungespannt. In Ly 2 und Ly 3 herrschen dagegen gespannte Grundwasserverhältnisse.

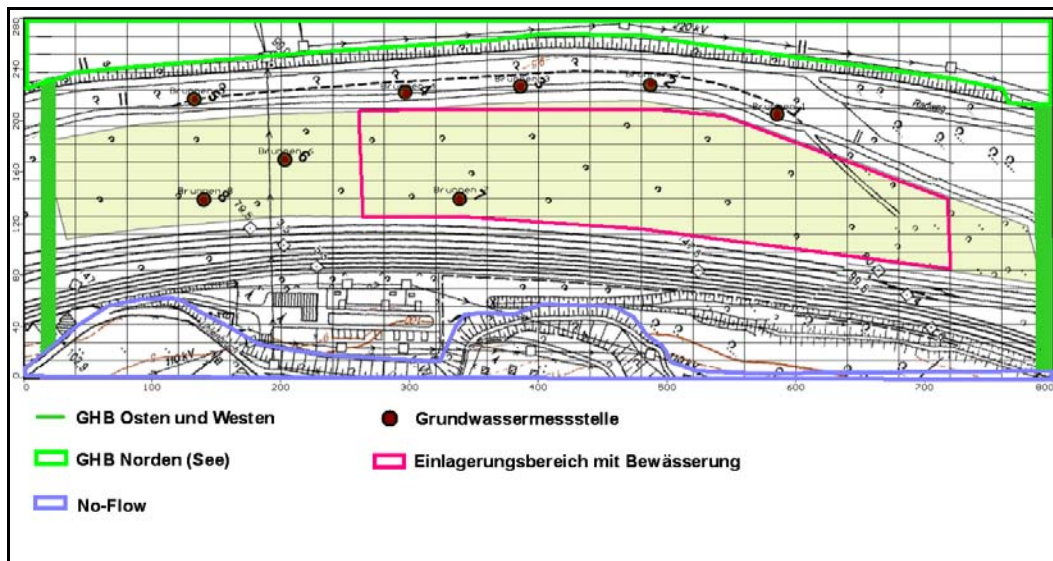


Abbildung 5.4.1: Modellgebiet mit Raster und Grenzbedingungen.

Die Grenzbedingungen des Grundwassermodells (siehe Abb. 5.4.1) werden aus den natürlichen Bedingungen abgeleitet. Die Nordgrenze bildet der Hengsteysee. Häufig kann ein See mit seinem konstanten Pegel als infinite Quelle des Wasserzustroms, bzw. als infinite Senke bestimmt werden. Dies entspräche dann den Bedingungen der Konstant Head Boundary. Bei der Ermittlung der Gradienten zeigten sich fast durchweg influente Bedingungen, vom See ins Grundwasser. Alle Grundwasserstände folgten rasch dem Seepiegel, auch bei dessen Absinken. Dennoch wird hier keine Konstant Head Boundary festgelegt. Betrachtet man die Grundwasserstände der GWM 1 bis GWM 7, so befindet sich der Tagespegel zumeist über der Grundwasserhöhe. Dies könnte auf eine Kolmation des Seeufers hinweisen. Der Untergrund des Untersuchungsgebietes weist dann höhere hydraulische Leitfähigkeiten auf, als das Ufer. Die Nordgrenze unterliegt dann eher den Bedingungen der General Head Boundaries (GHB). Dabei wird eine generelle Abhängigkeit der Zu- oder Abflussmengen von einem in einer festzulegenden Entfernung herrschenden Grundwasserspiegel angenommen. Die Durchflussmengen sind dabei sowohl vom kf-Wert, als auch von dem sich ergebenden Grundwasserspiegelgefälle abhängig. Die übergeordnete, natürlich vorherrschende Fließrichtung ist durch den Ruhrverlauf angezeigt. Sie verläuft von Osten nach Westen. Diesen beiden Grenzen werden ebenfalls GHB zu Grunde gelegt.

Die Südgrenze bildet eine Geländeerhebung, deren geologischer Aufbau zwei Schichten aufweist. Hier liegt eine pleistozäne Deckschicht den Ton- und Schluffsteinen direkt auf (vgl. Kap. 3.2). Grundwasserzuflüsse aus dieser Richtung können wohl auf Grund der enormen BW, und der geringen Mächtigkeiten der Deckschicht vernachlässigt werden. Abflüsse in diese Richtung können nahezu ausgeschlossen werden. Hier wird also von keinerlei Fließbewegungen (No-Flow) ausgegangen. Im Modell werden diese als inactive cells bezeichnet.

Die Porositäten und Speichereigenschaften der Schichten wurden von Literaturwerten (HÖLTING, 1996 und MULL und HOLLÄNDER, 2002 und WARD und ROBINSON, 2000) abgeleitet.

## 5.4.2 Parameter für stationäre Bedingungen

Die Modellierung erfolgte in mehreren Anpassungsschritten. Den ersten Einstellungen lagen die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Eigenschaften zu Grunde. Dieses Vorgehen erfolgte sowohl für NBA 1 (Tab. 5.4.1), als auch für NBA 2 (Tab. 5.4.2). Die GWM wurden ebenfalls in der Modellierung berücksichtigt. Die in den Simulationen verwendeten Höhen der beobachteten Werte in den GWM sind in Tabelle 5.4.3 aufgelistet.

Tabelle 5.4.1: Parameter erste Einstellung für NBA 1.

| Einstellungen für das Niveau des Beobachtungsabschnitt 1 (NBA 1): |         |             |                      |           |
|---|---------|-------------|----------------------|-----------|
| Layer   | kf-Wert | RCH [mm/yr] | EVT [mm/yr] ; ED [m] |           |
| Ly 1  | 1 E-5   | 265         | 580 ; 0.4            |           |
| Ly 2  | 1 E-7   |             |                      |           |
| Ly 3  | 1 E-3   |             |                      |           |
|   |         |             |                      |           |
| Storage   | Ss      | Sy          | Eff. Por.            | Tot. Por. |
| Ly 1  | 0.25    | 0.25        | 0.25                 | 0.35      |
| Ly 2  | 0.0002  | 0.2         | 0.2                  | 0.45      |
| Ly 3  | 0.0003  | 0.3         | 0.3                  | 0.35      |
|   |         |             |                      |           |
| Ly 1  | Head    | Entfernung  | Kf                   |           |
| GHB-Osten   | 96.18   | 100         | 1 E-5                |           |
| GHB-Westen  | 95.9    | 100         | 1 E-5                |           |
| GHB-Norden  | 96.23   | 5           | 1 E-6                |           |
| Ly 2  |         |             |                      |           |
| GHB-Osten   | 96.18   | 100         | 1 E-7                |           |
| GHB-Westen  | 95.9    | 100         | 1 E-7                |           |
| GHB-Norden  | 96.23   | 5           | 1 E-7                |           |
| Ly 3  |         |             |                      |           |
| GHB-Osten   | 96.18   | 100         | 1 E-3                |           |
| GHB-Westen  | 95.9    | 100         | 1 E-3                |           |
| GHB-Norden  | 96.23   | 5           | 1 E-6                |           |
| Initial Heads: 96,1 m   |         |             |                      |           |

Tabelle 5.4.2: Parameter erste Einstellung NBA 2.

| Einstellungen für das Niveau des Beobachtungsabschnitt 2 (NBA 2): |         |             |                      |           |
|---|---------|-------------|----------------------|-----------|
| Layer   | kf-Wert | RCH [mm/yr] | EVT [mm/yr] ; ED [m] |           |
| Ly 1  | 1 E-5   | 265         | 580 ; 0.4            |           |
| Ly 2  | 1 E-7   |             |                      |           |
| Ly 3  | 1 E-3   |             |                      |           |
|   |         |             |                      |           |
| Storage   | Ss      | Sy          | Eff. Por.            | Tot. Por. |
| Ly 1  | 0.25    | 0.25        | 0.25                 | 0.35      |
| Ly 2  | 0.0002  | 0.2         | 0.2                  | 0.45      |
| Ly 3  | 0.0003  | 0.3         | 0.3                  | 0.35      |
|   |         |             |                      |           |
| Ly 1  | Head    | Entfernung  | Kf                   |           |
| GHB-Osten   | 95.83   | 100         | 1 E-5                |           |
| GHB-Westen  | 95.75   | 100         | 1 E-5                |           |
| GHB-Norden  | 95.85   | 5           | 1 E-6                |           |
| Ly 2  |         |             |                      |           |
| GHB-Osten   | 95.83   | 100         | 1 E-7                |           |
| GHB-Westen  | 95.75   | 100         | 1 E-7                |           |
| GHB-Norden  | 95.85   | 5           | 1 E-7                |           |
| Ly 3  |         |             |                      |           |
| GHB-Osten   | 95.83   | 100         | 1 E-3                |           |
| GHB-Westen  | 95.75   | 100         | 1 E-3                |           |
| GHB- Norden   | 95.85   | 5           | 1 E-6                |           |
| Initial Heads: 95.8 m   |         |             |                      |           |

Tabelle 5.4.3: Höhen in den GWM für NBA 1 und NBA 2 im stationären Fall.

| Höhe der GWM    |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Höhe in m ü. NN |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                 | GWM 1 | GWM 2 | GWM 3 | GWM 4 | GWM 5 | GWM 6 | GWM 7 | GWM 8 |
| NBA 1           | 95,95 | 96,03 | 96,2  | 96,1  | 95,95 | 96    | 96    | 96,2  |
| NBA 2           | 95,7  | 95,63 | 95,86 | 95,7  | 95,83 | 95,79 | 95,6  | 96,1  |

Nach einem Simulationslauf erfolgte eine Auswertung der Resultate. Daraufhin wurde stets nur ein Modellparameter angepasst und ein neuer Simulationslauf gestartet. Alle Simulationsläufe sowie deren Anpassungen sind im Anhang C 3. MODFLOW stationär dokumentiert.

### 5.4.3 Parameter für instationäre Bedingungen

Der erste instationäre Simulationslauf (instat 1) wurde ebenfalls mit vereinfachten Bedingungen, und mit der natürlichen GWNB durchgeführt. Hier dienten die Parametereinstellungen des vierten Simulationslaufes der stationären Bedingungen von NBA 1 und NBA 2, als erste und zweite Stressperiode (Anhang C Tab. MF instat 1). Die erste Stressperiode umfasst 78 Tage, die zweite 99 Tage. Nach der Auswertung der Ergebnisse wurde hier ebenfalls je ein Parameter angepasst und ein neuer Simulationslauf durchgeführt.

Als letztes erfolgte eine Simulation mit den Einstellungen der besten Anpassung unter Berücksichtigung aller beobachteten Werte. Die Dokumentation aller Simulationsläufe sowie der Anpassungen ist im Anhang C 4. MODFLOW instationär zu finden.

## 6. Ergebnisse und Diskussion

### 6.1 Wasserbilanz des Holznasslagers

Im Folgenden sind alle Ergebnisse, die mit der Wasserbilanz des Holznasslagers im Zusammenhang stehen, beschrieben.

#### 6.1.1 Benetzungsverluste

Auf einem Quadratmeter Fichtenrinde werden rund 0,18 mm Wasser als Benetzungsverlust zurückgehalten (vgl. Anhang C Tab. Labv.2). In einem Einheitspolter sind 22 Stämme mit einem Durchmesser von 0,5 m eingelagert. Daraus ergibt sich eine Gesamtoberfläche von 17,38 m<sup>2</sup>. Der OR eines neu eingelagerten Polters beträgt somit 3,1 mm. Für den ersten Berechnungstag, den 21.06.2007, werden die Berechnungswassermengen mit 33 mm (vgl. Abb. 4.3.5 und STORA ENSO, 2009), und der Niederschlag mit 23 mm angegeben. Ohne V verbleiben also 52,9 mm überschüssiges Wasser, welches an den Stämmen abgefließen sein kann. Der Anteil des OR ist demnach sehr gering, zudem entstand dieser Verluste nur auf der Oberfläche neu eingelagerter Stämme.

#### 6.1.2 Berechnungswassermengen

Vorweg soll darauf hingewiesen werden das der hier ermittelte OR nur einen ungefähren Schätzwert darstellen kann. Im Umfang dieser Diplomarbeit war eine genauere Bestimmung leider nicht möglich.

Laut dem „Holzeinlagerungsplan Nasslager Hengsteysee“ (Kap.4.3, Abb. 4.3.1), wurde zwischen dem 11.06.2007 und dem 27.08.2007 eine Gesamtpolterlänge von 219,20 m erreicht. Hierbei bleibt jedoch der Bereich der 2 m Polter unberücksichtigt, und wird später in den Einlagerungsverlauf eingebracht. Für 68 Arbeitstage ergibt sich daraus eine Verbreiterung des Holznasslagers von annähernd 3,20 m pro Tag. Bezieht man diesen Fortschritt auf das eingelagerte Volumen, so ergibt sich eine tägliche Einlagerungsquote von entweder 1 Polter á 3,20 m, oder 0,75 Polter á 4,20 m.

Nach Abschluss der Einlagerung umfasste das Holznasslager 6 Polter zu 2 m, 55 Polter zu 3,20 m, 38 Polter zu 4,20 m, sowie die Querpolder 1a/1 mit 6,50 m, Querpolder 1/2 mit 7,00 m und Querpolder 2/3 mit 8,00 m Breite.

Zusammen mit den Angaben aus dem Betriebstagebuch konnte nun der Einlagerungsverlauf rekonstruiert werden. Der chronologische Einlagerungsverlauf ist in Anhang D Tabelle D. 1, und die Berechnung zu B in Anhang D Tabelle D. 2 detailliert nachzulesen. In Abbildung 6.1.1 ist der Verlauf von B dargestellt.

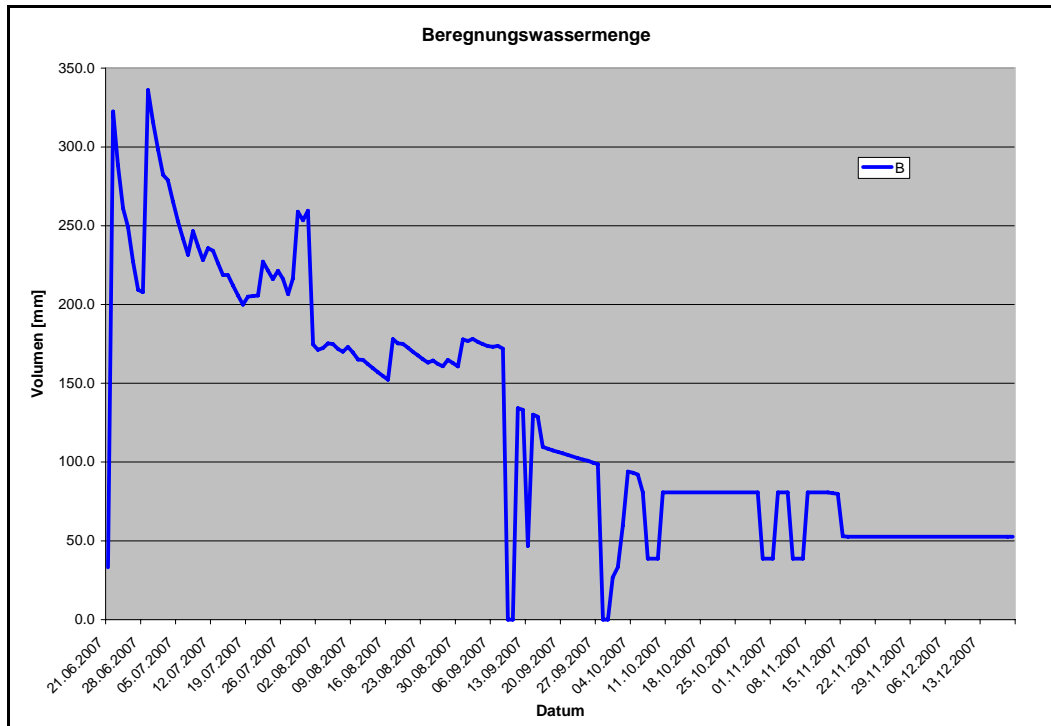


Abbildung 6.1.1: Verlauf der Beregnungswassermengen im Beobachtungszeitraum.

## 6.1.3 Sickerwassermengen

Die Einzelergebnisse der täglichen  $V$  sind im Anhang D Tab. D. 3 aufgelistet. Der OR wird nur von den SW einer neu mit Holz überlagerten Fläche ( $SW_{\text{Neu}}$ ) abgezogen. Alle negativen Ergebnisse für die SW wurden gleich null gesetzt. In Abbildung 6.1.2 ist der Verlauf von  $SW_{\text{Neu}}$  dargestellt.

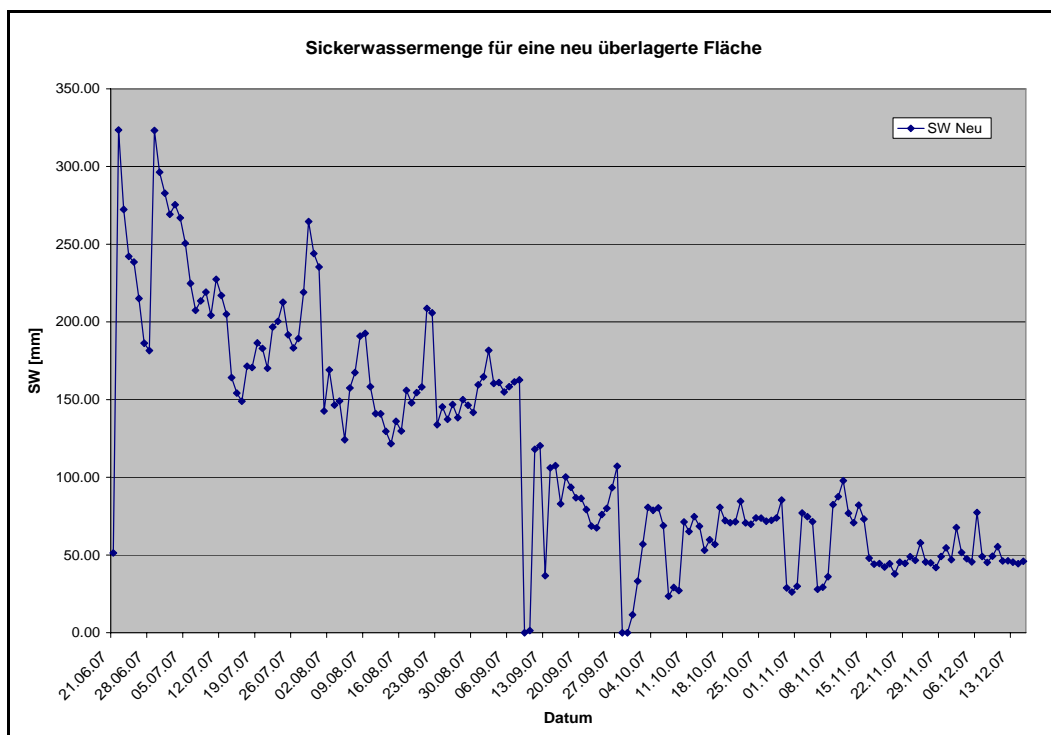


Abbildung 6.1.2: Verlauf der Sickerwassermengen für eine neu mit Stämmen überlagerte Fläche.



Für alle Flächen, die mindestens einen Tag vor dem Berechnungsdatum überlagert waren ( $SW_{Alt}$ ), fällt der OR weg. Die Berechnung laut Formel 5.1 wurde entsprechend geändert. Eine Übersicht zum Verlauf von  $SW_{Alt}$  wird in Abbildung 6.1.3 gegeben.

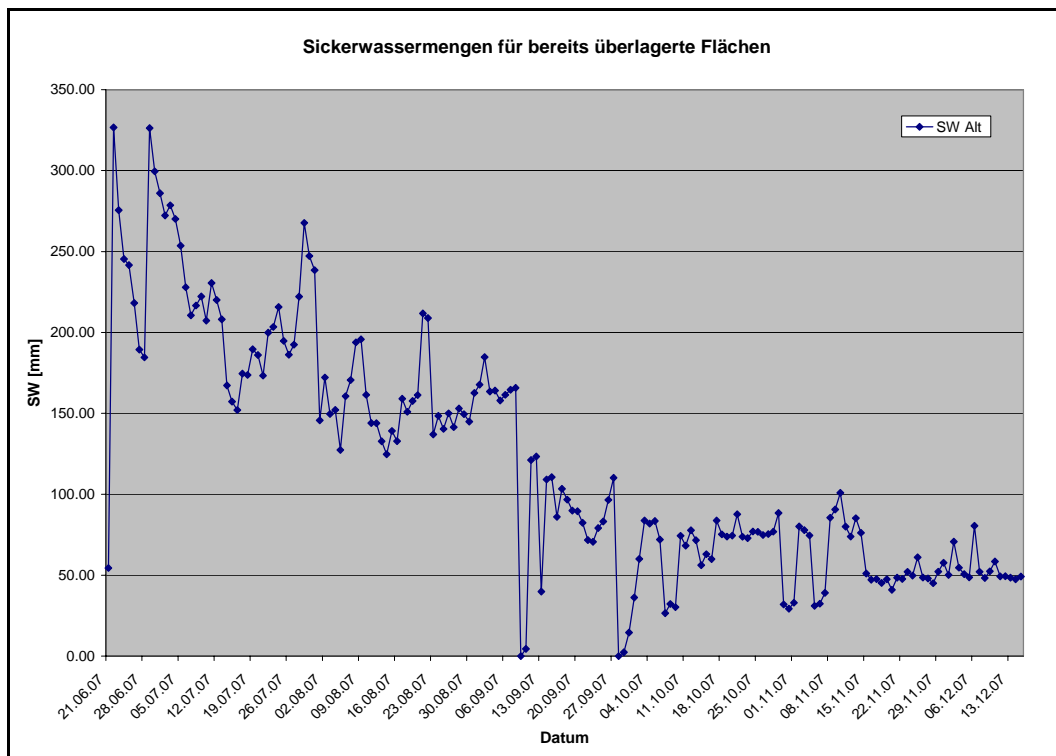


Abbildung 6.1.3: Verlauf der Sickerwassermengen für eine bereits zuvor überlagerte Fläche.

Es zeigt sich, dass der Einfluss des OR auf die SW äußerst gering ist.

### 6.1.4 Diskussion

Die oben beschriebenen SW können lediglich eine ungefähre Schätzung der tatsächlich versickerten Wassermenge sein. Der OR und die V sind vor allem von der Beschaffenheit und der Größe der Stammoberfläche abhängig. Hierzu mussten vereinfachte Annahmen getroffen werden, da die tatsächlichen Begebenheiten nicht mehr nachvollzogen werden konnten.

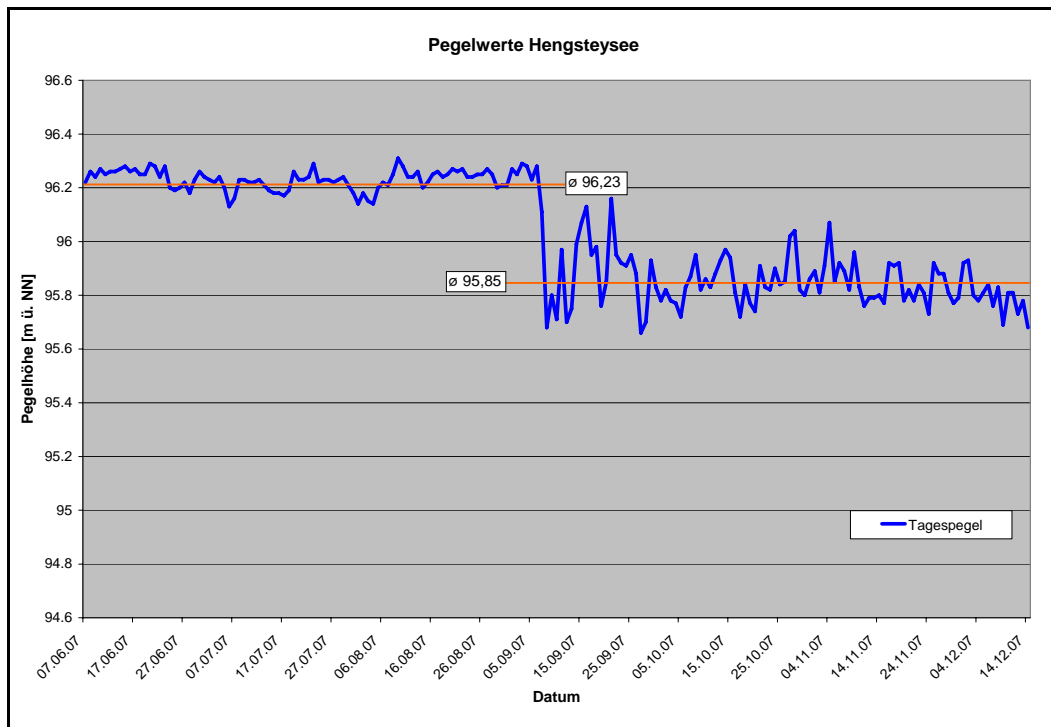
Die größten Verluste treten durch die V auf. Diese ist wiederum vor allem vom ermittelten  $F_f$  abhängig. Selbst eine grobe Unterschätzung von V sollte jedoch auf das Verhalten der GWM kaum Einfluss haben. Dies ergibt sich aus den enorm gesteigerten Neubildungsraten der beregneten Fläche. Die Werte der SW im NBA 1 liegen zwischen dem 220 bis 400 fachen der natürlichen GWNB. Im NBA 2 immerhin noch im Bereich des 70 bis 130 fachen. So kann auch davon ausgegangen werden, dass der OR keine signifikanten Einflüsse auf die SW haben wird.

Für weitere Betrachtungen sollten dennoch Minimalwerte der SW verwendet werden. Dies sollte eine grobe Überschätzung der SW ausschließen. Für den NBA 1 wird eine durchschnittliche SW von 100 mm, und für den NBA 2 von 50 mm angenommen.

## 6.2 Gradientenermittlung

### 6.2.1 Pegelstände von Grundwasser und See

In der Abbildung 6.2.1, zum Verlauf des Tagespegels, ist die Änderung im Niveau des Seepegels klar zu erkennen. Während des NBA 1 lag der Seepegel auf einem mittleren Niveau von 96.23 m ü. NN. Nach dem 06.09.2007, im NBA 2, fiel dieses Niveau um 38 cm, auf 95.85 m ü. NN, ab.



**Abbildung 6.2.1:** Verlauf des Tagespegels mit Angabe des mittleren Pegelniveaus für NBA 1 und NBA 2.

Wie oben bereits erwähnt, hatte der Betrieb des PSKW nicht nur Einfluss auf das durchschnittliche Pegelniveau, sondern auch auf die Amplitude der Schwankungen des Seespiegels. So sind deutliche Unterschiede in den Schwankungsbereichen, sowohl in den beiden Beobachtungsabschnitten, als auch im Verlauf eines Tages zu beobachten. Im NBA 1 betrug der maximale Pegel 96,31 m ü. NN, und der minimale Pegel 96,13 m ü. NN. Für den NBA 2 lag der maximale Pegel bei 96,16, und der minimale Pegel bei 95,72 m ü. NN. Daraus folgt eine Amplitude für NBA 1 von 18 cm. Für NBA 2 steigt diese jedoch stark an, auf 50 cm. Ähnlich verhält es sich auch bei den Schwankungen innerhalb eines Tages (Abb. 6.2.2 und Abb. 6.2.3).

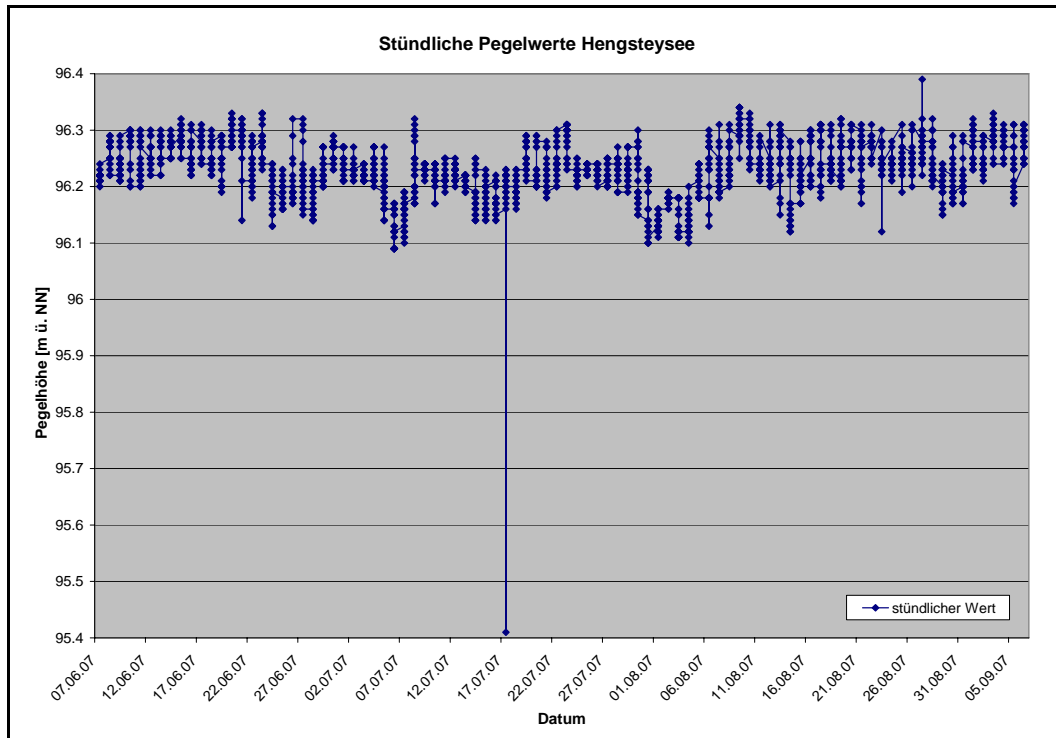


Abbildung 6.2.2: Schwankungsbereiche der Pegel eines Tages im NBA 1.

Abbildung 6.2.2 zeigt alle Stundenmittelwerte des NBA 1. Vernachlässigt man den Datenpunkt vom 17.07.2007 um 9:00 Uhr mit einem Wert von 95,41 m ü. NN als Ausreißer, dann lagen die Schwankungen im Verlauf eines Tages stets unter 20 cm. Der durchschnittliche Schwankungsbereich betrug sogar nur 8 – 10 cm. Für NBA 2 vergrößerte sich die maximale Amplitude auf 75 cm (Abb. 6.2.3). Der durchschnittliche Schwankungsbereich eines Tages im NBA 2 lag bei 55 bis 65 cm.

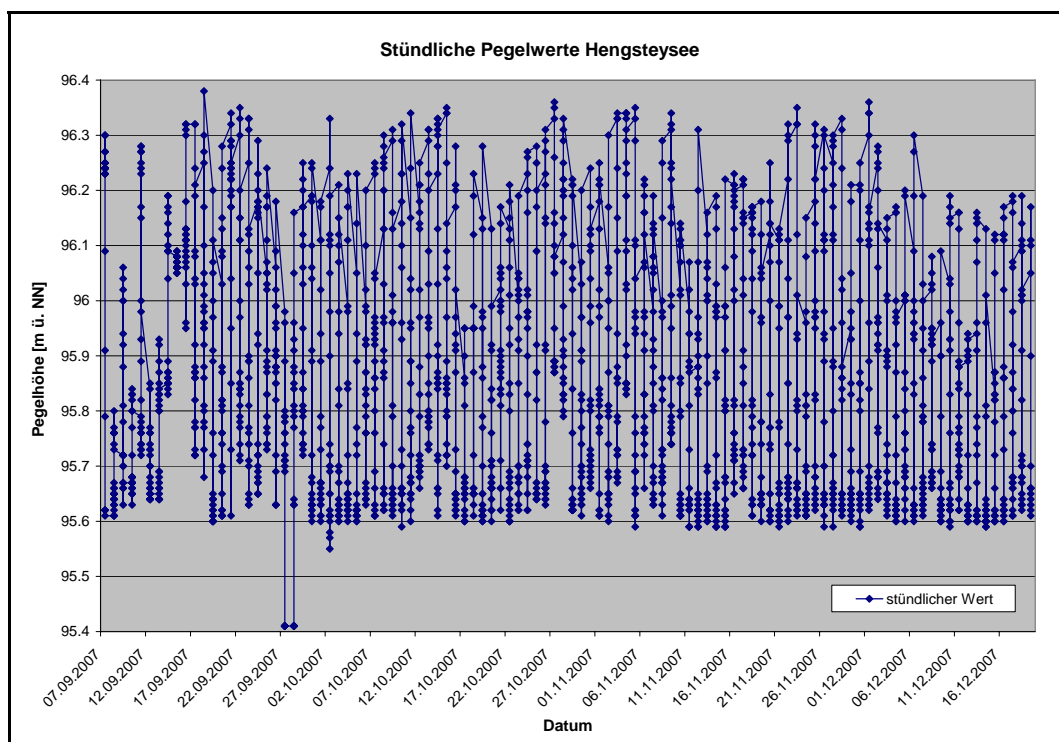
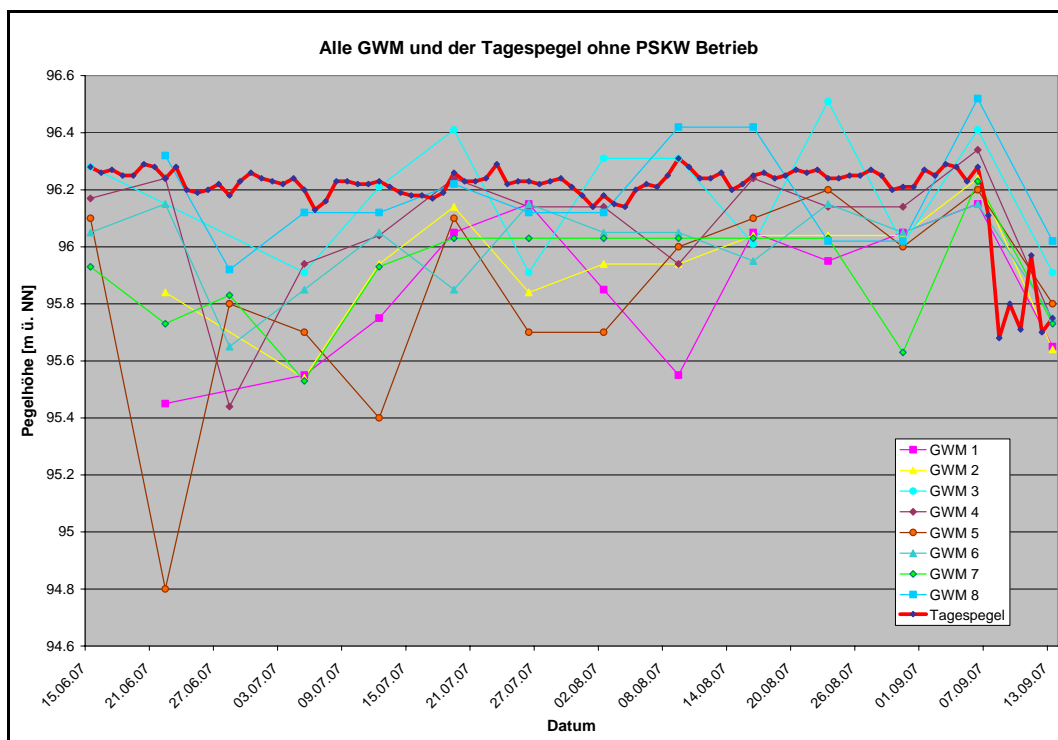


Abbildung 6.2.3: Schwankungsbereiche der Pegel eines Tages im NBA 2

Eine Betrachtung der gemeinsamen Darstellung des Tagespegels, mit den beobachteten Werten der GWM, erfolgt für NBA 1 und NBA 2 getrennt.

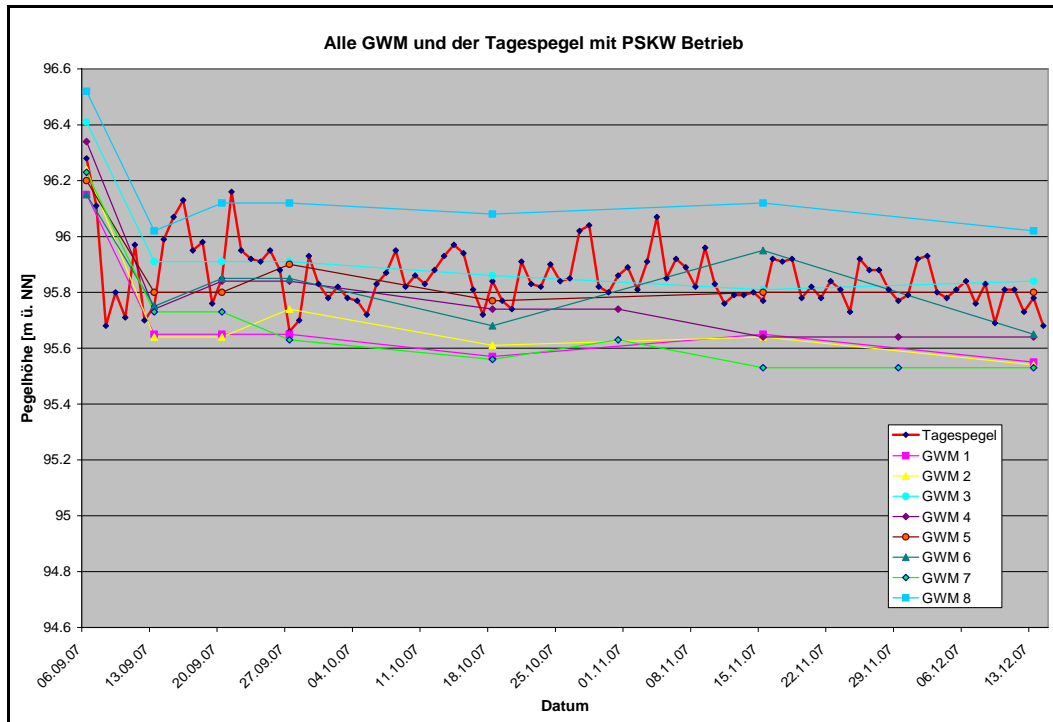
Eine regelmäßige Datenerhebung zu den Grundwasserständen aller GWM ist erst ab dem 05.07.2007 vorhanden. Die GWM 3 bis GWM 7 wurden ab dem 15.06.2007, und die GWM 1, GWM 2 und GWM 8 wurden erst ab dem 22.06.2007 beprobt. Auch gibt es Datenlücken der GWM 1 bis GWM 3 vor dem 05.07.2007.

Die Grundwasserstände im NBA 1 liegen, mit Ausnahme der GWM 3 und GWM 8, stetig unter dem Tagespegel (Abb. 6.2.4). Für GWM 7 ist eine Plateauphase vom 19.06.2007 bis 23.08.2007 auffällig. Die Grundwasserstände der GWM 2 und GWM 3 zeigen zu Beginn einen ähnlichen Verlauf.



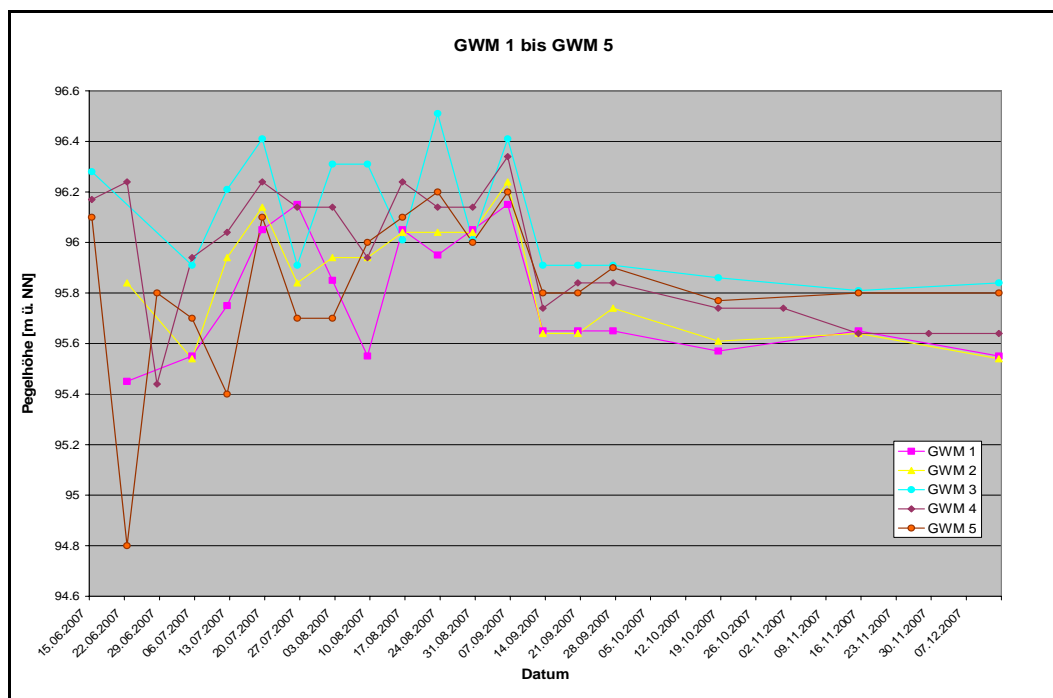
**Abbildung 6.2.4:** Übersicht aller beobachteten Werte der GWM mit dem Verlauf des Tagespegels im NBA 1.

Alle GWM weisen am 06.09.2007 eine Spitze auf, und fallen dann rasch mit dem Tagespegel zum NBA 2 ab. Dieser Auslaufprozess des Grundwassers scheint in der Zeit zwischen dem 06.09.2007 und dem 13.09.2007 weitestgehend abgeschlossen zu sein (Abb. 6.2.5). Die Schwankungen der Grundwasserstände im NBA 2 flachen sehr stark ab. Der Seepegel wird nun auch gelegentlich von den GWM 5 und GWM 6 überschritten. In der überwiegenden Zeit liegt jedoch weiterhin der Tagespegel über den Grundwasserständen.



**Abbildung 6.2.5:** Übersicht aller beobachteten Werte der GWM mit dem Verlauf des Tagespegels im NBA 2.

In Abbildung 6.2.6 sind alle beobachteten Grundwasserstände der GWM 1 bis GWM 5 eingetragen. Diese GWM liegen dem Seeufer am nächsten. Eine steigende Tendenz für GWM 2 im NBA 1 kann auf Grund des fehlenden Datenpunktes, vom 15.06.2007, nicht eindeutig bestimmt werden. Sowohl GWM 4, als auch GWM 5 fallen zu Beginn des NBA 1 einmalig stark ab. Ob dies auch auf GWM 3 zutrifft kann nicht abschließend geklärt werden.



**Abbildung 6.2.6:** Übersichtsdarstellung der beobachteten Werte der GWM 1 bis GWM 5.

Die GWM 8 weist ebenfalls größere Schwankungen im NBA 1 auf. Nach der Änderung des Niveaus zum NBA 2, verbleibt diese jedoch stetig auf einem hohen Wert, der deutlich über dem Tagespegel (Abb. 6.2.7) liegt. Im NBA 2 liegt die GWM 3, laut den beobachteten Werten, nun stetig über dem Tagespegel. Auch GWM 5 und GWM 6 folgen rasch dem Niveauabfall, doch übersteigen deren Werte im NBA 2 nun gelegentlich den Tagespegel.

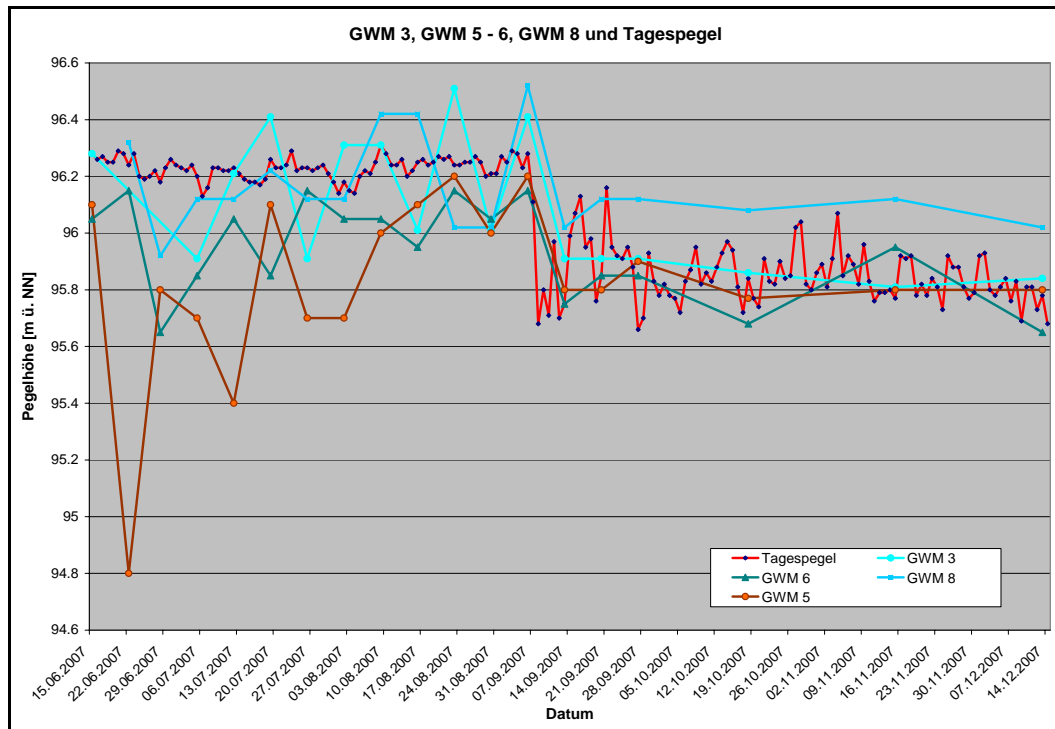
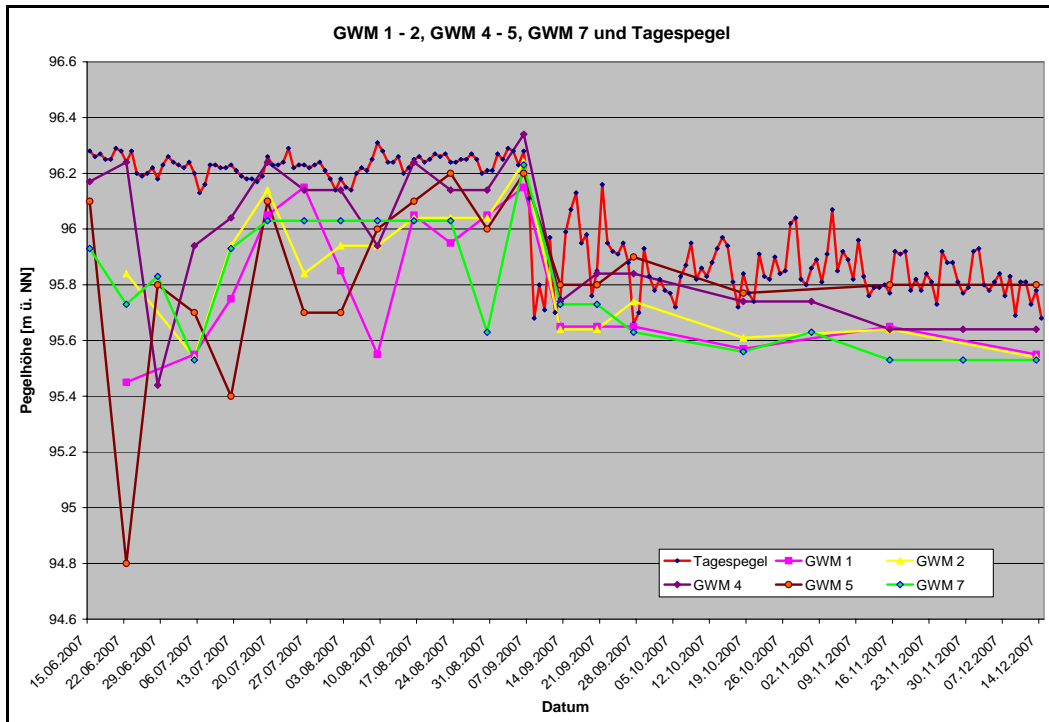


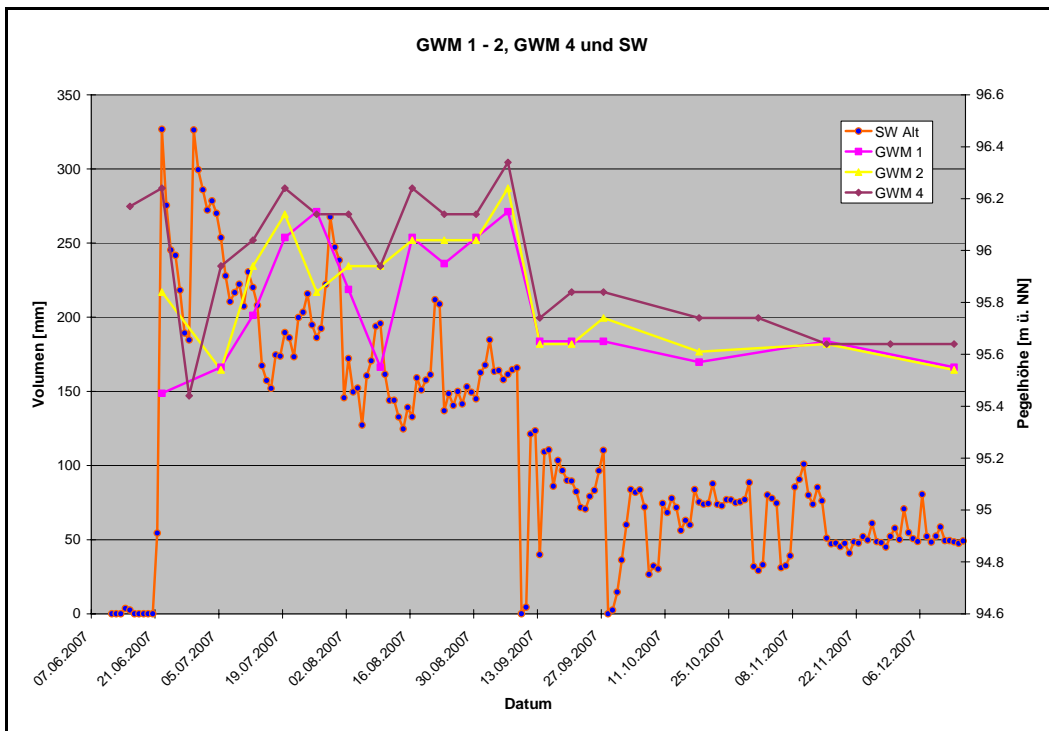
Abbildung 6.2.7: GWM 3, GWM 6, GWM 8 und der Tagespegel.

Alle anderen GWM (1, 2, 4 und 7) verhalten sich sowohl im NBA 1, als auch im NBA 2 gleich zum Tagespegel (Abb. 6.2.8). Das heißt, wenn eine GWM den Tagespegel im NBA 1 nur selten und leicht überschritten hat, so gilt dies auch im NBA 2. Hat im NBA 1 keine Überschreitung stattgefunden, dann trifft man dies auch im NBA 2 nicht an. Die Grundwasserstände von GWM 2, GWM 4 und GWM 5 zeigen im NBA 2 annähernd das gleiche Verhalten.



**Abbildung 6.2.8: GWM 1 - 2, GWM 4 - 5, GWM 7 und der Tagespegel.**

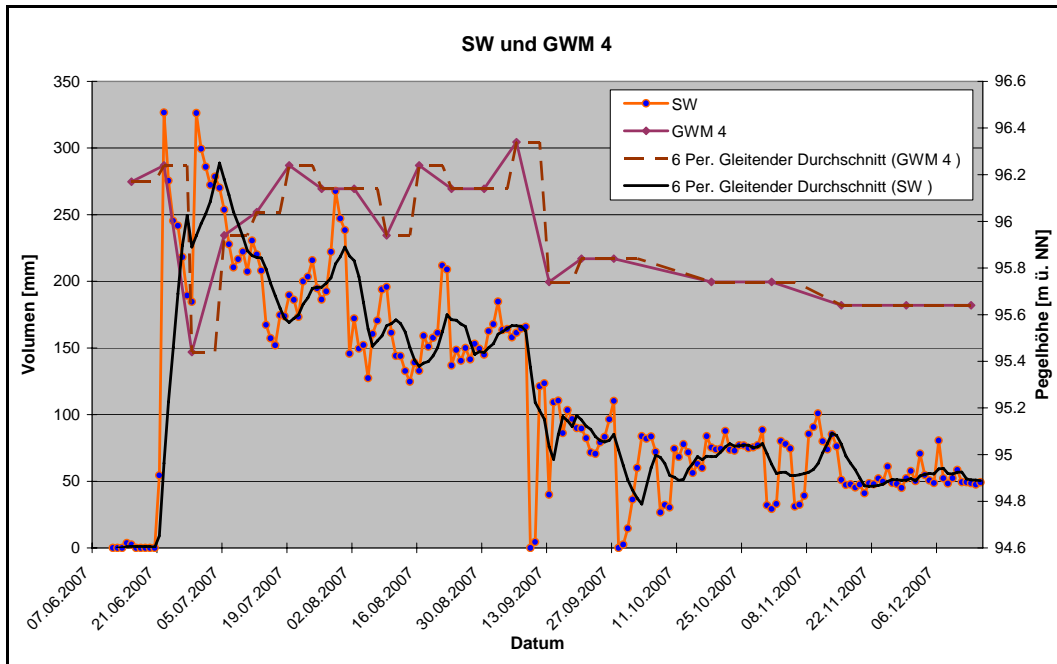
Zur Betrachtung möglicher Reaktionen der GWM auf die SW trägt man beispielhaft die GWM 1, GWM 2 und GWM 4 zusammen mit den SW in einem Graphen ein. Daraus wird ein gleichzeitiger Abfall der Grundwasserstände, und der SW ersichtlich (Abb. 6.2.9).



**Abbildung 6.2.9: Auftrag der GWM 1, GWM 2 und GWM 4 zusammen mit den SW.**

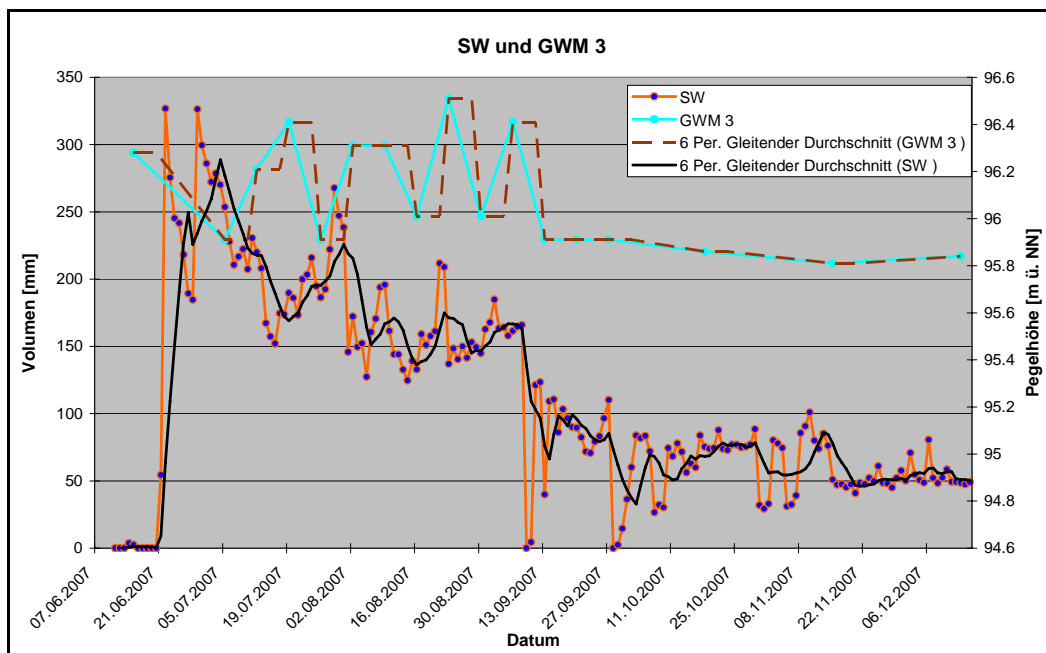
Fügt man das gleitende Mittel über eine 7 tägige Periode ein, so scheint GWM 4 dem Verlauf von der SW zu folgen (Abb. 6.2.10). Dabei werden allerdings die kleineren Spitzen der SW, in der zweiten Hälfte des NBA 1, nicht abgebildet.





**Abbildung 6.2.10: Verlauf von GWM 4 und den SW, sowie deren gleitende Mittel.**

Trägt man den Verlauf von GWM 3 zusammen mit den SW, sowie deren gleitende Mittel in den Graphen ein, kann hier ebenfalls ein mögliches Nachfolgen beobachtet werden (Abb. 6.2.11). Das gleitende Mittel von den SW weist 6 Spitzen auf. Der ersten kleineren Spitze folgt nach einem kurzen Abfall der Höchstwert. Die erste Spitze des gleitenden Mittels von GWM 3 zeigt an dieser Stelle eine Stufe. Der erste Messpunkt von GWM 3 wird nicht in diese Betrachtung eingeschlossen.



**Abbildung 6.2.11: Verlauf von GWM 3 und den SW, sowie die gleitenden Mittel von GWM 3 und SW.**

Im weiteren Verlauf treten hier noch 3 Spitzen auf. Die letzte Spitze der SW könnte auf Grund des allgemeinen Pegelabfalls fehlen.

Vergleicht man auch die gleitenden Mittel der übrigen GWM mit dem gleitenden Mittel der SW (Anhang D Abb. D 1 bis Abb. D 8) ergeben sich folgende Beobachtungen:

- GWM 1 könnte eine gedrungene Nachfolge zeigen, bei der die einzelnen SW Spitzen teilweise stufig ineinander übergehen.
- GWM 2 zeigt für die erste Hälfte des NBA 1 eine Nachfolge zu den SW. In der zweiten Hälfte des NBA 1 ist dies nicht ersichtlich.
- Für GWM 5 kann ein Nachfolgeverhalten mit 16 bis 20 Tagen Abstand interpretiert werden. Die erste Spitze der GWM kann damit aber nur unzureichend erklärt werden. Auch werden nicht alle Spitzen der SW abgebildet.
- GWM 6 zeigt keinen eindeutigen Zusammenhang. Nur ein kleiner Anstieg zu Beginn des NBA 2 korreliert mit dem Verhalten der SW Kurve und den GWM 2, GWM 4 – 5, sowie der GWM 8.
- Eine Reaktion der GWM 7 auf die SW kann nicht erkannt werden. Lediglich die Ausbildung eines Plateaus ist auffällig.
- GWM 8 zeigt kein klares Nachfolgeverhalten.

### 6.2.2 Transsekten

Eine Darstellung aller Einzelbetrachtungen jedes Beprobungstages ist zu umfangreich. Daher erfolgt hier eine exemplarische Abbildung der T1 bis T4 vom 19.07.2007 und vom 18.10.2007. Die Ergebnisse aller anderen Beprobungstage werden hier nur schriftlich dargelegt. Alle Werte sind im Anhang D Tabelle D 4 hinterlegt. Für die Betrachtung des See-Untersuchungsgelände-Gradienten sind die GWM 1 bis GWM 5 ausschlaggebend. Die Grundwasserstände liegen im gesamten Beobachtungszeitraum stets über der Basis des Hochflutlehms.

Am 19.07.2007 lag GWM 3 über dem Tagespegel, alle anderen GWM lagen darunter (Abb. 6.2.12). Im Bereich der GWM 3 bildet sich ein lokaler Hochpunkt aus. Mit Ausnahme der GWM 3 verläuft der Gradient vom See zum Untersuchungsgelände. Der Grundwasserabfluss scheint von Osten nach Westen, parallel zum See, im mittleren Geländebereich, zu verlaufen.

## Ergebnisse und Diskussion

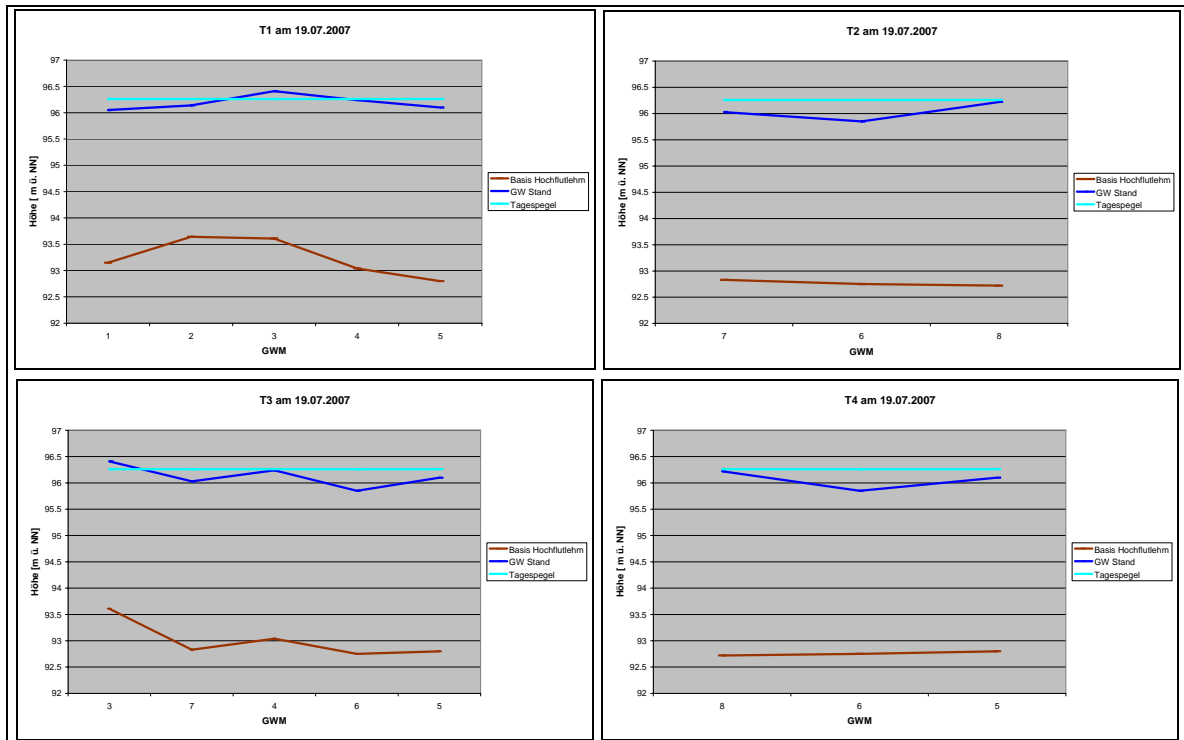


Abbildung 6.2.12: Alle Transsekten vom 19.07.2007.

Am 18.10.2007 bildet sich im Bereich der GWM 3, etwa 2 cm über dem Tagespegel, wieder ein lokaler Hochpunkt (Abb. 6.2.13). Mit Ausnahme der GWM 3 verläuft der Gradient vom See in Richtung Untersuchungs Gelände. Im Bereich der GWM 7 bildet sich ein lokaler Tiefpunkt. Daher kann die Fließrichtung des Grundwasserabflusses nicht eindeutig bestimmt werden.

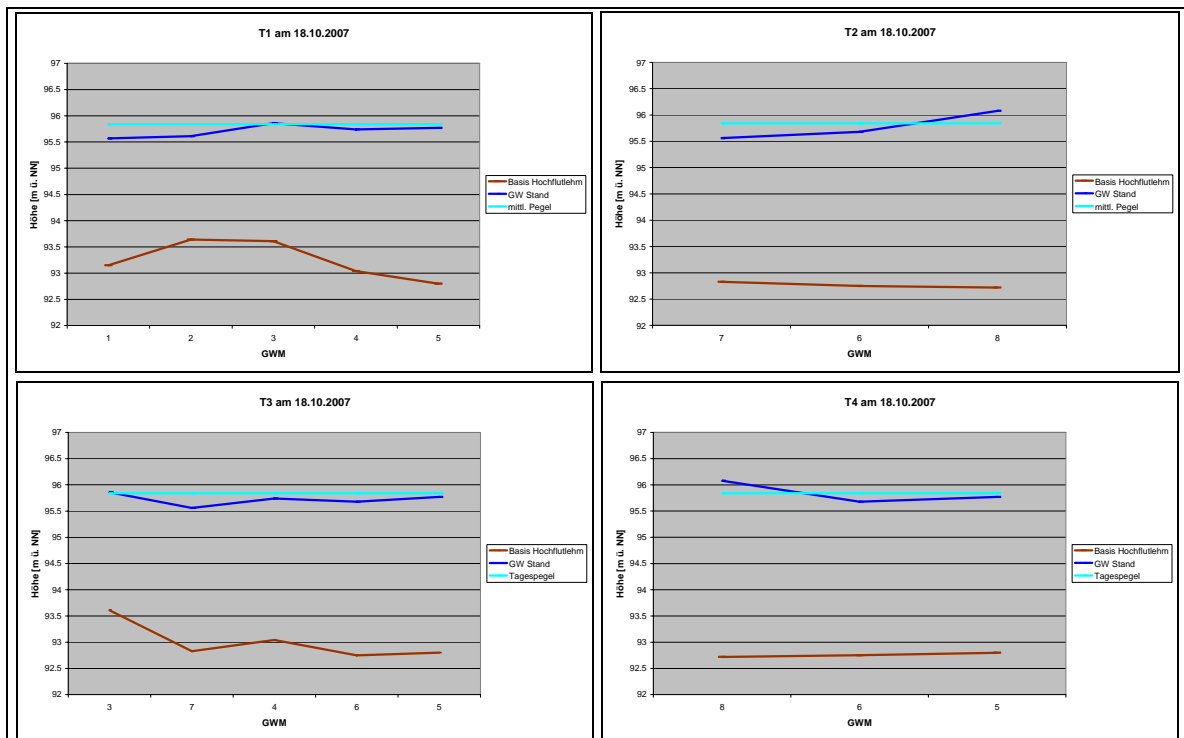


Abbildung 6.2.13: Alle Transsekten vom 18.10.2007.

An den ersten drei Beobachtungstagen (15.06, 22.06 und 28.06.2007) wurden die GWM 1, GWM 3 und GWM 3 nicht jedes Mal beprobt. Die vorhandenen Daten weisen an den oben genannten drei Terminen einen Gradienten vom See zum Untersuchungsgelände auf. Die Grundwasserabflussrichtung ist für den 15.06 nicht eindeutig festzulegen, da hier der GWM 7 als tiefster Punkt auftritt. Am 22.06.2007 ist der absolute Tiefpunkt der GWM 5, mit 94,8 m ü. NN, zu finden. Am 28.06.2007 tritt GWM 4 als lokale Senke auf, auch hier ist nicht ersichtlich in welche Richtung das GW abfließen könnte.

Von den folgenden Ausführungen ausgeschlossen werden sowohl die zuvor erwähnten Tage mit Datenlücken, als auch der 31.10. und 29.11.2007, da hier nur die GWM 4 und GWM 7 beprobt wurden.

An vier von zehn Tagen im NBA 1 (19.07., 02.08., 23.08. und 06.09.2007), und im gesamten NBA 2 lag GWM 3 über dem Tagespegel. Außer am 20.09. und 18.10.2007 lag GWM 5 im NBA 2 ebenfalls über dem Tagespegel.

An drei Tagen im NBA 1 (05.07., 23.08. und 30.08.2007), und für den gesamten NBA 2 weist die GWM 7 die tiefsten Werte des Untersuchungsgeländes auf. Es ist hier nicht möglich eine Grundwasserabflussrichtung festzulegen. An den restlichen Tagen im NBA 1 ist mit einer Abflussrichtung im Bereich von GWM 6, bzw. zwischen GWM 6 und GWM 5 zu rechnen.

### 6.2.3 Diskussion

Die starken Schwankungen der GWM im NBA 1 können durch die wesentlich höheren, und ebenfalls stark schwankenden, SW hervorgerufen werden. Im NBA 2 nehmen die SW kontinuierliche Werte an, und die Schwankungen der GWM verflachen.

Im Vorfeld rechnete man mit einer Erhöhung der Grundwasserstände durch die Beregnung. Auf Grund der schlechten Datenlage zu Beginn der Beobachtungen, sowie der großen Schwankungsbereiche im NBA 1, können hierzu keine gesicherten Aussagen getroffen werden.

An drei Tagen im NBA 1 und im gesamten NBA 2 liegen die GWM 5 und GWM 6 über dem Pegel von GWM 1 und GWM 2. Dennoch findet keine Umkehrung in der Richtung des Grundwasserabflusses nach Osten statt. Zum einen, weil GWM 3 als Wasserberg dazwischen liegt, und zum anderen, da GWM 7 an allen entsprechenden Tagen die tiefsten Pegelstände aufweist. So stellt sich hier nun die Frage, in welche Richtung das Grundwasser von GWM 7 abfließt. Hierzu gibt es drei mögliche Erklärungen:

1. Sollte die GWM 7 nicht richtig eingemessen worden sein, könnten sich falsche Gradienten ergeben.
2. Im Bereich der GWM 7 befinden sich drainende Elemente im Untergrund, welche diesen Bereich stärker absenken, und das Wasser in eine unbekannte Richtung ableiten.
3. Die tatsächlich tiefste Linie verläuft zwischen GWM 5 und GWM 6 in westlicher Richtung.

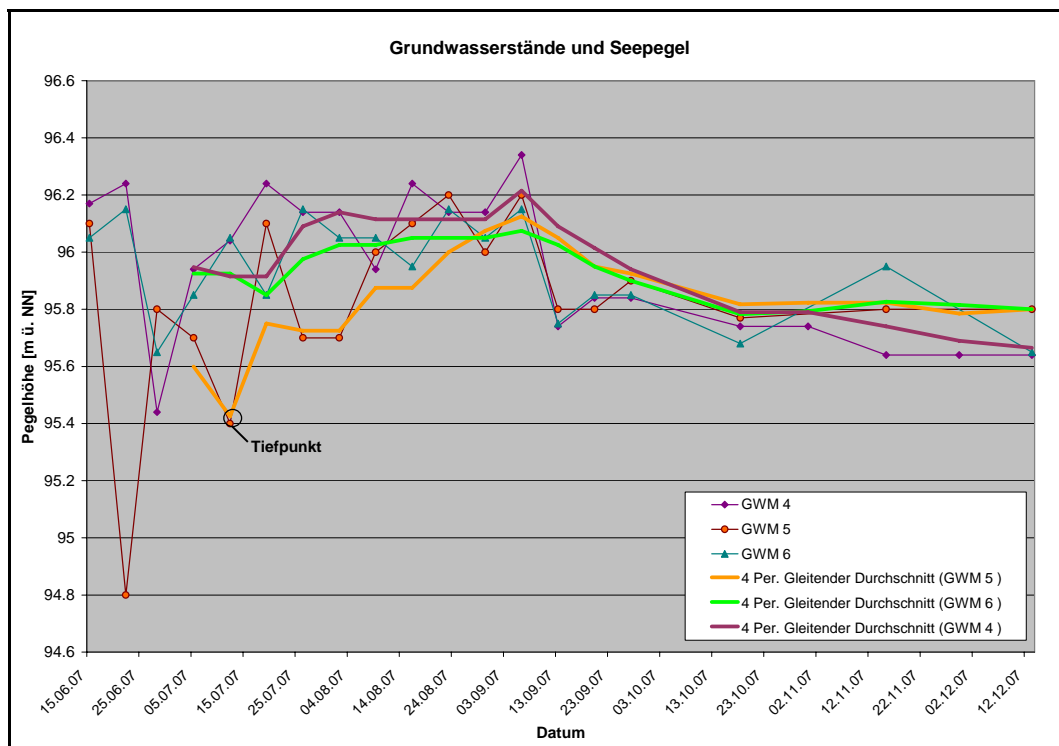
Nimmt man nun an, dass die GWM 7 korrekt eingemessen wurde, wäre auch eine Kombination aus der zweiten und dritten Annahme denkbar. Hierbei würde die übergeordnete, natürliche Fließrichtung auch einen Grundwasserabfluss in westlicher

Richtung bewirken. Zusätzlich könnte GWM 7 im Einflussbereich einer kleinräumigen Drainung liegen.

Pauschal gesehen ergibt sich dann für den NBA 1 ein Gradient vom See in das Untersuchungsgelände mit einem Grundwasserfluss in westlicher Richtung.

Für den NBA 2 scheint es, als würde sich dieses Verhalten ändern. GWM 3 liegt stetig, und GWM 5 zeitweise über dem Tagespegel. Jedoch liegt GWM 4 wiederum unter dem Tagespegel. Auch GWM 6 liegt tiefer als GWM 5. Der erhöhte Pegel von GWM 5 könnte unter Umständen durch Rückstau der westlichen Abflüsse entstehen. Dabei würde GWM 5 zeitversetzt auf die Zuflüsse von GWM 4 und GWM 6 reagieren.

Hierzu werden die gleitenden Mittel dieser drei GWM betrachtet. Voraussetzung ist, dass der Tiefpunkt der GWM 5 in Abbildung 6.2.14 eine Reaktion auf eine Zeit vor dem Beobachtungszeitraum darstellt. Unter dieser Annahme zeigt sich eine stetige Erhöhung der GWM 5. Dieser ansteigende Verlauf könnte ein Hinweis auf eine zu geringe Abflusskapazität sein. Die hohen Zuflüsse bewirken dann einen stetigen Anstieg. In der Auslaufphase, mit gleichzeitig geringeren Beregnungsintensitäten, würden die GWM 4 und GWM 6 dann früher, und tiefer abfallen. Auch dieses Verhalten lässt sich in Abbildung 6.2.14 erkennen.



**Abbildung 6.2.14: Verlauf der GWM 4, GWM 5 und GWM 6 mit deren gleitenden Mittel.**

Der dauerhaft niedrigere Pegel von GWM 6, im Verhältnis zu GWM 4, könnte im Aufbau des Untergrundes begründet sein. Die Hochflutlehmdecke von GWM 6 ist mächtiger, und die Oberkante liegt höher als die der GWM 5 und GWM 4 (Anhang D Tab. D. 4). In diesem Bereich ist dann mit geringeren Durchlässigkeiten zu rechnen.

Für die GWM 1 bis GWM 6 kann eine Nachfolge zu den SW erklärt werden. Die GWM 7 bildet ein auffälliges Plateau im NBA 1 aus, welches auf ein drainendes Element im Boden hinweisen könnte. Eine Aussage zum Nachfolgeverhalten kann hier nicht erfolgen.

Das andere Verhalten der GWM 8 könnte durch den geologischen Aufbau und die entfernte Lage zur berechneten Fläche erklärt werden. Bei der Bohrung zur GWM 8 wurde in einer Tiefe von 7,60 m unter GOK das Grundgestein angetroffen. Die darüberliegenden alluvialen Kiese weisen eine geringe Mächtigkeit von 90 cm auf. Diese wiederum werden von einer 2,50 m mächtigen Hochflutlehmdecke überlagert. Damit zeigt sich ein von den anderen GWM stark abweichender Untergrundaufbau.

### 6.3 Atrazinausträge

Die Werte aller im Folgenden beschriebenen Parameter sind tabellarisch im Anhang D Tabelle D. 5 bis Tabelle D. 10 aufgelistet. Die Daten aus diesen Tabellen waren die Grundlage zur Erstellung der unten stehenden Graphen.

#### 6.3.1 Parameterverläufe

Da in GWM 4 häufig Atrazin gemessen wurde, und hier auch der höchste Wert angetroffen wurde, soll hier die GWM 4 exemplarisch dargestellt werden.

Für den pH-Wert und den Atrazinverlauf konnten keine Übereinstimmungen erkannt werden (Abb. 6.3.1).

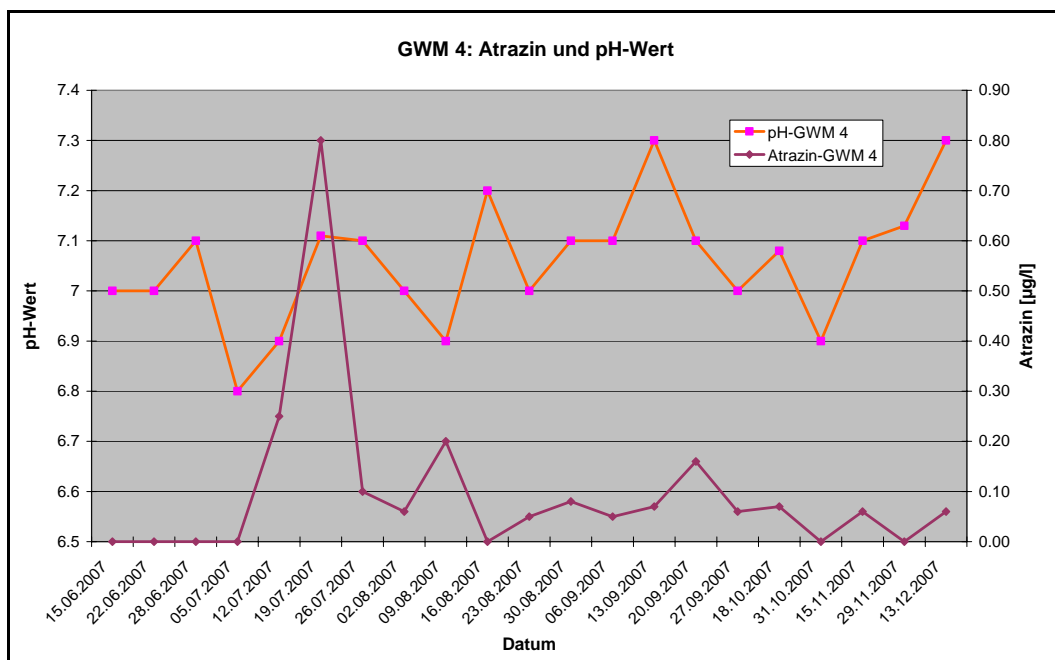


Abbildung 6.3.1: Verlauf des pH-Wertes und des Atrazin in der GWM 4.

Zu dem Verlauf der Trübungswerte könnte ein Zusammenhang vorliegen. Aus der Abbildung 6.3.2 kann dies jedoch nicht absolut eindeutig bestimmt werden.

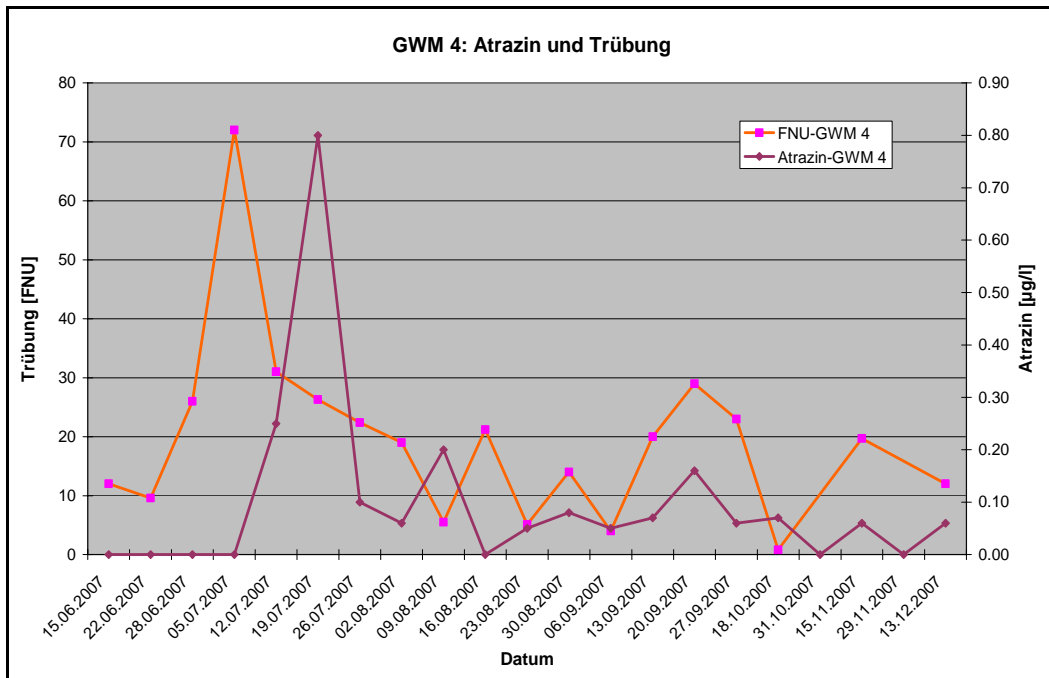


Abbildung 6.3.2: Verlauf der Trübung und des Atrazin in GWM 4.

Für den Verlauf der Leitfähigkeit könnte, ähnlich wie für den Trübungsverlauf, ein bedingter Zusammenhang bestehen. Jedoch auch hier kann keine eindeutige Festlegung auf Grundlage der Abbildung 6.3.3 stattfinden.

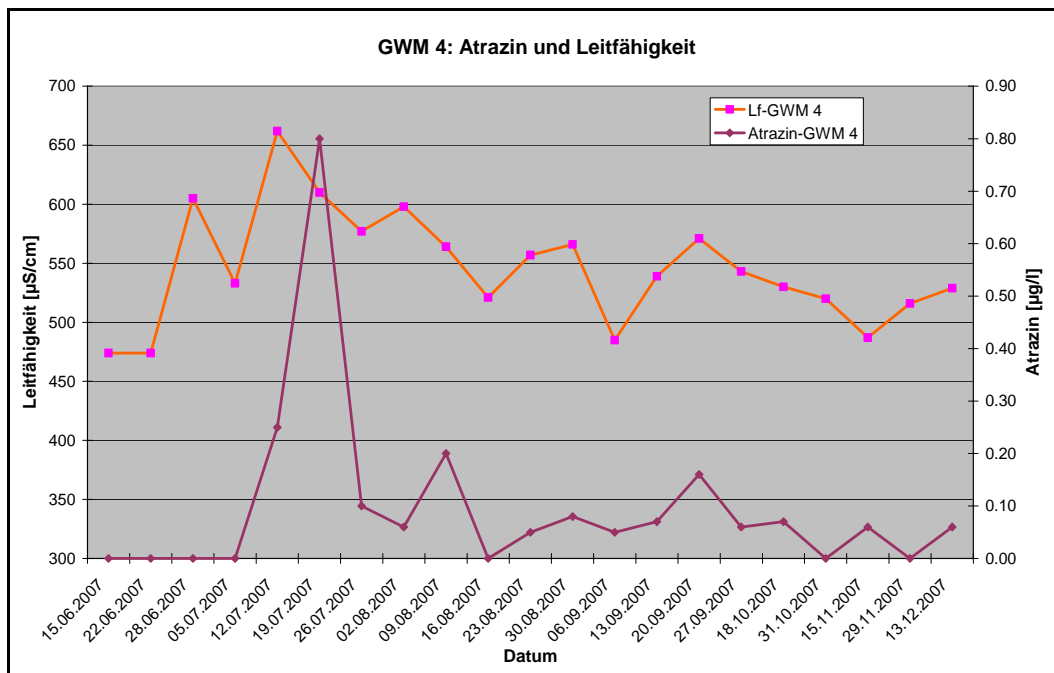


Abbildung 6.3.3: Verlauf der Leitfähigkeit und des Atrazin in GWM 4.



Zwischen der Wassertemperatur und dem Atrazinverlauf kann kein Zusammenhang erkannt werden (Abb. 6.3.4).

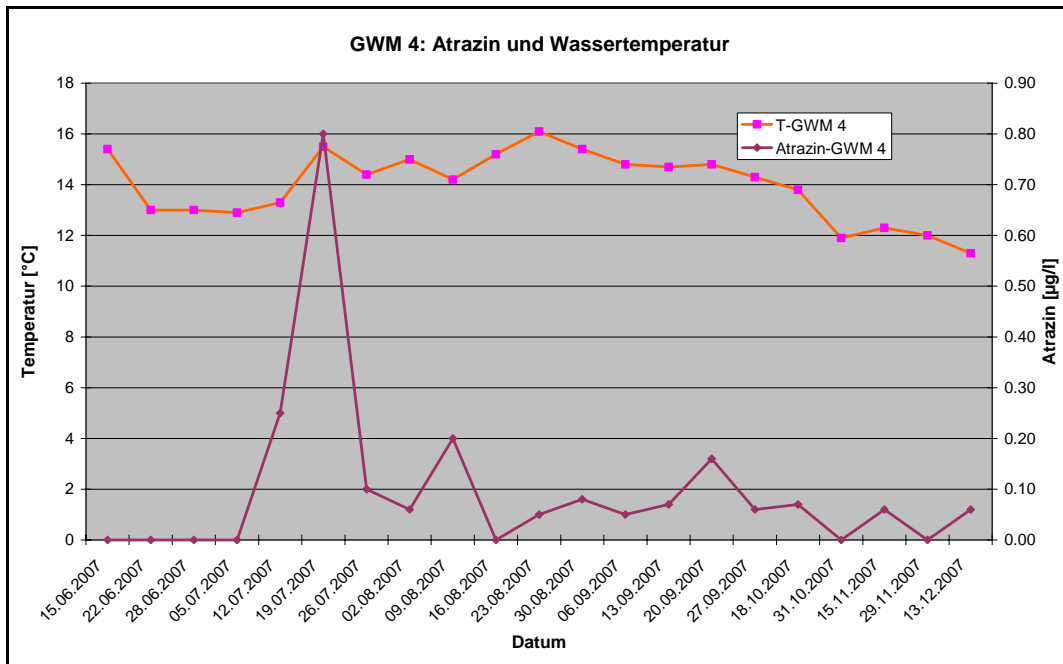


Abbildung 6.3.4: Verlauf der Wassertemperatur und des Atrazin in GWM 4.

Für die Stoffverläufe von TOC und DOC könnte ein Zusammenhang mit dem Atrazinverlauf bestehen (Abb. 6.3.5).

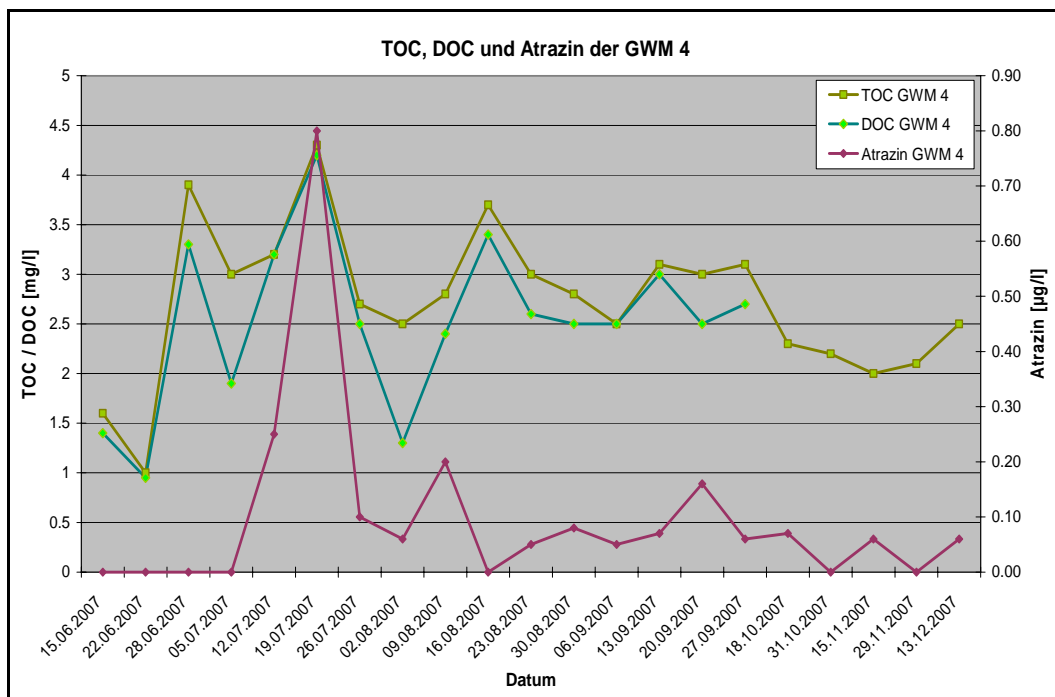


Abbildung 6.3.5: Verlauf von TOC, DOC- und des Atrazin in der GWM 4.

Eine Abhängigkeit des Atrazinverlaufs von den Grundwasserständen oder dem Tagespegel kann nicht erkannt werden (Abb. 6.3.6).

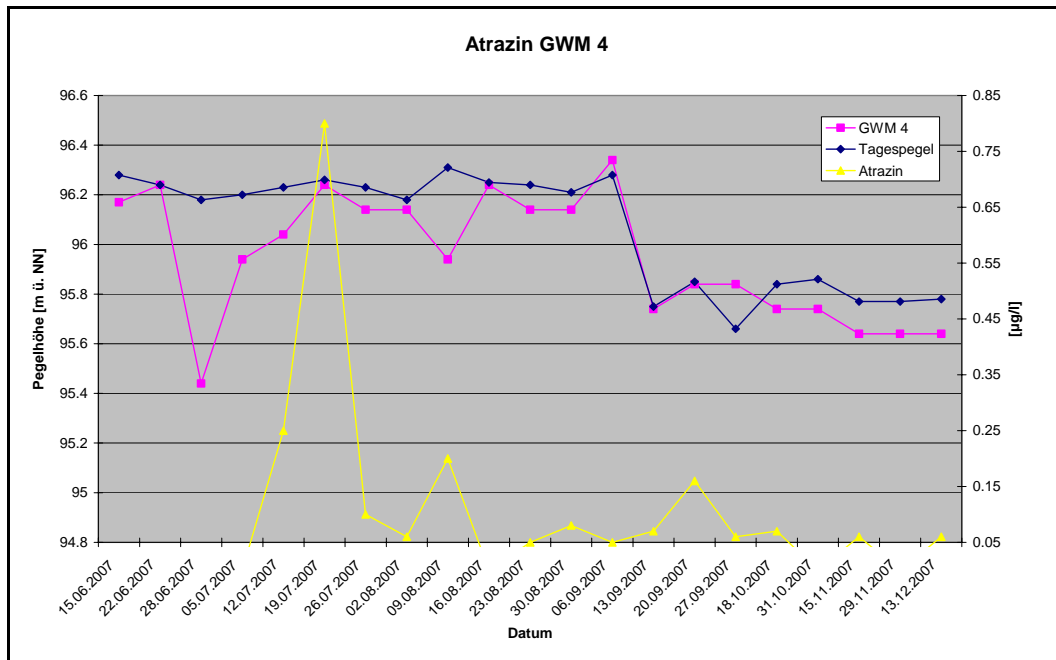


Abbildung 6.3.6: Verlauf des Atrazin und der Pegelwerte der GWM 4 mit Tagespegel.

Für die verbleibenden GWM wurden die oben beschriebenen Vergleiche ebenfalls durchgeführt. Hier konnte jedoch für keine GWM ein möglicher Zusammenhang mit einem der Parameter hergestellt werden.

### 6.3.2 Eintragswege und Konzentrationen

Alle Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln werden zusammen mit den beobachteten Daten der Atrazinkonzentrationen betrachtet. Daraus lassen sich Abschätzungen zum Verhalten des Atrazin, und dem daraus resultierenden Risiko einer Kontamination des Trinkwassers treffen.

#### Eintragsweg Hengsteysee:

Der Atrazinaustrag über GWM 3 in das Seewasser wird für den ungünstigsten Fall errechnet. Auf dem Weg zur Rohwasseraufnahme wird diese Konzentration durch das Seewasser verdünnt. Abbau- und Sorptionsprozesse werden auf dem zurückgelegten Fließweg mit hoher Wahrscheinlichkeit stattfinden. Werte können hierzu leider keine angegeben werden (vgl. Kap.2.1). Daher bleiben diese Prozesse unbeachtet und es erfolgt eine reine Abschätzung der Verdünnung. Für die Dispersionseigenschaften liegen ebenfalls keine übertragbaren Werte vor. Die Annahmen, in der unten folgenden Berechnung, zur Ausdehnung der Atrazinwolke haben keinen empirischen bestimmten Hintergrund.

Daher hat die im Folgenden beschriebene Rechnung nur einen modellhaften Charakter.

Die Fließgeschwindigkeiten im Bereich des südlichen Ufers sind gering. Die Tiefe ist sehr variabel und liegt zwischen 1 m und 2,75 m. Der Boden ist mit großen Wasserpflanzen

besiedelt. Auf dem Fließweg zur Rohwasserfassung (vgl. Grundwassermessstellen in Kap. 4.1) wird eine mittlere Fließgeschwindigkeit von 0,03 m/s angenommen.

Annahmen:

- Höchste Konzentration aller Beobachtungen der GWM war 0,8 µg/l
- Der betroffene Uferbereich in der Nähe von GWM 3 ist 60 m Lang
- Das Grundwasser kann auf einer Fläche von 60 m \* 0,7 m in den See fließen
- Die Höchste Pegeldifferenz der GWM 3 zum See betrug 25 cm
- Das Ufer weist einen kf-Wert von  $10^{-4}$  auf
- Die Fließstrecke bis zur Rohwasserfassung beträgt 1200 m

Die gesamte Fließstrecke wird in ca. 11 Stunden zurückgelegt. Die Breite der Atrazinwolke im Austrittsbereich wird durch das orthogonale Vorbeiströmen des Seewassers verkleinert. Die Ausdehnung der Atrazinwolke an der Rohwasserfassung wird daher mit einer Ausdehnung von 5 m Breite, 0,7 m Tiefe und 1200 m Länge angenommen. Dies stellt also eine sehr geringe Ausdehnung in der Breite und Tiefe dar. Die Berechnung der Verdünnung ist in Tabelle 6.3.1 dargelegt.

**Tabelle 6.3.1: Berechnung der Verdünnung.**

| austretendes Grundwasservolumen |                                   |       |                            |                            |
|---------------------------------|-----------------------------------|-------|----------------------------|----------------------------|
| kf                              | A                                 | l     | Q                          | Q in 11 Stunden            |
| $1 \cdot 10^{-4}$               | $(60 \cdot 0,7) = 42 \text{ m}^2$ | 0,7   | $2,9 \cdot 10^{-3}$        | <b>116 m<sup>3</sup></b>   |
|                                 |                                   |       |                            |                            |
| Gesamt volumen der Atrazinwolke |                                   |       |                            | Verdünnungsvolumen         |
| Länge                           | Breite                            | Tiefe | Volumen                    |                            |
| 1200 m                          | 5 m                               | 0,7 m | <b>4.200 m<sup>3</sup></b> | <b>4.084 m<sup>3</sup></b> |
|                                 |                                   |       |                            |                            |
| Verdünnung                      |                                   |       |                            |                            |
| $4.084 / 116 = 35 : 1$          |                                   |       |                            |                            |

Mit einer Verdünnung von 35 : 1 fällt die anfängliche Atrazinkonzentration von 0,8 µg/l auf 0,02 µg/l, und damit weit unter den Geringfügigkeitsschwellenwert (TrinkwV, 2001) ab. Eine dreifach höhere Konzentration von 2,4 µg/l, wie sie im Übrigen nicht annähernd festgestellt werden konnte, würde auf 0,07 µg/l verdünnt. Eine Überschreitung des Geringfügigkeitsschwellenwertes wäre auch in diesen Fall nicht gegeben.

Hier soll darauf hingewiesen werden, dass im Wasser der Rohwasserfassung, während des Beobachtungszeitraumes, keine nachweisbaren Atrazinwerte festgestellt wurden.

Dass ein Risiko für die Verunreinigung der Rohwasserfassung mit Atrazin besteht, ist für den betrachteten Fall äußerst gering, wenn nicht sogar nahezu auszuschließen.

### Eintragsweg Grundwasser:

Der Transport des Atrazin mit dem Grundwasser unterliegt komplexeren Bedingungen, als in der fließenden Welle. Eine Vernachlässigung der Retardierungsprozesse im Untergrund ist für das Atrazin nicht möglich. Auf Grund der Wissensdefizite in der Forschung kann eine Risikoabschätzung in diesem Fall nicht an einer mathematischen Modellrechnung erfolgen.

Eine Abschätzung erfolgt daher über eine Betrachtung der beobachteten und abgeschätzten Begebenheiten des Untersuchungsgeländes. Zusätzlich wird das Verhalten des Atrazin im Grundwasser theoretisch von den Ergebnissen aus der Forschung abgeleitet.

Das Atrazin ist vermutlich nicht überall im Boden gleichmäßig verteilt. Stellen mit geringsten Belastungen können neben sogenannten Atrazinnestern liegen. Hohe Konzentrationen treten somit lokal begrenzt auf. Der mit Abstand höchste Atrazinwert in GWM 4 könnte auf eine solche Begebenheit zurückzuführen sein.

Das kontaminierte Grundwasservolumen ist hierdurch ebenfalls begrenzt. Auf dem Weg zu den Grundwasserbrunnen der Trinkwassergewinnungsanlage unterliegen die Stoffmengen verschiedenen Prozessen.

Betrachtet man das Atrazin als eine Art Markierstoff (Tracer), so wäre das Ausbreitungsverhalten vermutlich starken Retardierungsprozessen, mit einer zumindest teilweise irreversiblen Sorption, unterlegen. Diese, auf dem Wissensstand der Forschung basierende Vermutung, könnte von der hier beobachteten Abstandsgeschwindigkeit gestützt werden. Zwischen dem ersten Auftreten von Atrazin in den GWM 4 und GWM 7, und dem ersten Nachweis in GWM 6, liegt eine Zeitspanne von 3 Monaten. Daraus ergäbe sich eine Abstandsgeschwindigkeit von  $1,54 \cdot 10^{-5}$  m/s (Abstandsgeschwindigkeit des Wassers im Kiesaquifer  $10^{-3}$  m/s). Sollte dieser Wert repräsentativ sein, sind die Transport- und Ausbreitungsgeschwindigkeiten des Atrazin im Grundwasser sehr langsam. Degradations- und Sorptionsprozesse würden dadurch gefördert werden.

Die oben erwähnte Retardierung mit den langsamen Abstandsgeschwindigkeiten würde die Atrazinwolke deutlich auseinander ziehen. Eine starke Verdünnung der Ausgangskonzentration wäre die Folge.

Bei einer Abstandsgeschwindigkeit von  $1,54 \cdot 10^{-5}$  m/s würde die Fließzeit des Atrazin bis zum 1000 m entfernten Gelände der Wassergewinnungsanlage 750 Tage betragen. Ob nach einer ca. 2jährigen Untergrundpassage noch messbare Konzentrationen in den Grundwasserbrunnen festzustellen wären, ist fraglich.

Läge die Abstandsgeschwindigkeit um eine Größenordnung höher ( $10^{-4}$  m/s), hätte ein Nachweis von Atrazin in der Wassergewinnungsanlage noch innerhalb des Beobachtungszeitraumes stattfinden müssen. Dort konnte jedoch zu keiner Zeit Atrazin festgestellt werden. Daraus folgt entweder ein vollständiger Rückhalt des Atrazin in der Bodenmatrix, oder die Abstandsgeschwindigkeit liegt höchstens bei Werten von  $10^{-5}$  m/s.

Das Risiko einer Verunreinigung der Trinkwasserbrunnen mit Atrazin durch zufließendes Grundwasser kann für beide Möglichkeiten nahezu ausgeschlossen werden.

### 6.3.3 Diskussion

Auf Höhe der Hochflutlehmdecke wurde eine Tonabdichtung in den Grundwasserbrunnen eingebaut. Diese Bauweise lässt darauf schließen, dass die Hochflutlehmdecke als eine mögliche Sperrschicht angenommen wurde. Wäre dies der Fall so würde keine hydraulische Verbindung zwischen der Auffüllschicht und der alluvialen Kiesschicht bestehen. Nach den jetzigen Erkenntnissen kann dies nicht bestätigt werden.

Im gesamten Beobachtungszeitraum konnte kein Atrazin im Oberflächenwasser nachgewiesen werden. Das Auftauchen von Atrazin in den GWM lässt demnach auf eine Durchlässigkeit in der Hochflutlehmdecke schließen. Andernfalls würde das Atrazin von der Lehmschicht zurückgehalten werden, und könnte nicht in den Bereich der alluvialen Kiese eindringen.

Da die gemessenen Werte der GWM 3 und GWM 7 wesentlich geringer ausfallen, als die der GWM 4, ist die erste Spitze (Peak) in GWM 4 möglicherweise eine Auswaschung einer kleinräumigen Atrazinansammlung im Untergrundbereich.

Eine ausschließlich durch die Beregnung erzeugte Mobilisierung ist unwahrscheinlich, da der erste Befund von Atrazin in der GWM 1 mindestens eine Woche vor den anderen Messstellen erfolgte. Eine stetige Abhängigkeit der Atrazinausträge von einem der hier betrachteten Stoffe oder Parameter kann nicht festgestellt werden.

Das Zusammentreffen verschiedener Faktoren könnte zu den beobachteten Werten führen. Diese Mechanismen sind dann jedoch zu komplex, um sie im Rahmen dieser Arbeit zu identifizieren und darzulegen.

Betrachtet man die Reihenfolge der Atrazinfunde in den GWM ist hier ebenfalls von einem Grundwasserabfluss in westlicher Richtung auszugehen.

Im Vorfeld der Überwachungsmaßnahmen wurde eine Gefährdung der Trinkwassergewinnung befürchtet. Die möglichen Eintragswege sind der Hengsteysee und das Grundwasser. In beiden Fällen konnte auf ein äußerst geringes Risiko geschlossen werden. Bei der Betrachtung zu den Grundwasserbrunnen der Trinkwassergewinnungsanlage kommt noch ein weiterer Aspekt hinzu, nämlich die Lage des Untersuchungsgebietes. Es liegt noch ausserhalb der Schutzzone 3 der Trinkwassergewinnungsanlage, was ebenfalls für ein äußerst geringes Risiko spricht.

### 6.4. Fehlerbetrachtung

Bei allen Faktoren zur SW Berechnung muss vom Auftreten verschiedenen Fehler ausgegangen werden. Dies betrifft sowohl die Gradientenermittlung, als auch die Betrachtung der Atrazinausträge. Eine Zusammenfassung dieser Fehler wird im Folgenden gegeben.

Für die Faktoren zur SW Berechnung, laut Formel 5.1, sind folgende Fehler aufgetreten:

Die zur Verfügung gestellten Grunddaten zur täglichen Summe des Wasserbedarfs wurden, mit unbekanntem Fehlerbereich, über den Stromverbrauch der Seepumpe ermittelt. Der Flächenzuwachs zur Berechnung der täglichen BW konnte nur annäherungsweise rekonstruiert werden.

Bei der Berechnung des OR ist von systematischen Fehlern im Laborversuch auszugehen. Die tatsächlichen Umfänge der Stämme, und deren Anteile im Holznasslager, sind im Nachhinein nicht konkret zu ermitteln. So konnte die Berechnung der Gesamtoberfläche eines Einheitspolters nur als grobe Näherung erfolgen.

Die ausschlaggebende Größe in der Verdunstungsberechnung ist der Ff. Dieser berechnet sich aus dem Umfang der Stämme und den Eigenschaften der Rindenstruktur. Beides kann ohne Kenntnis der tatsächlichen Begebenheiten im Holznasslager nur in einer groben Annäherung bestimmt werden.

In der Niederschlagsmessung treten Verluste durch Benetzung, Verdunstung und Windfelddeformation auf. Diese sind mit einem Fehlerbereich von 8 bis 10 % anzunehmen.

Zusammenfassend betrachtet kann für die SW Berechnung keine seriöse mathematische Fehleranalyse erfolgen.

Fehler bei der Erhebung der Parameter und Stoffmengen:

Die Einmessung kann nicht mehr überprüft werden. Hier könnten sowohl zufällige, als auch systematische Fehler aufgetreten sein. Sollte eine, mehrere oder sogar alle GWM fehlerhaft eingemessen worden sein, so pflanzt sich dieser Fehler in der Gradientenermittlung fort.

Es ist nicht bekannt ob alle Beprobungen der Messstellen in gleicher Weise erfolgte. Bei der anschließenden Analyse der Stoffmengen ist mit systematischen Fehlern zu rechnen.

Auch für die Parameter- und Stoffmengenerhebung kann hier eine mathematische Fehleranalyse keine seriösen Ergebnisse liefern.

## 6.5. Grundwassermodellierung mit Visual MODFLOW

### 6.5.1 Stationäre Bedingungen

Ergebnis erster Simulationslauf:  
für NBZ 1

- Fließrichtung zum See und von Osten nach Westen.
- Grundwasserstände im Bereich der GWM bis zu 170 cm über Seepegel.

für NBA 2

- Fließrichtung zum See.
- Grundwasserstände im Bereich der GWM bis zu 195 cm über Seepegel.

Nicht einmal die Wassermengen unter natürlichen GWNB können abfließen. Es kommt zu einer starken Grundwassererhöhung. Entweder sind die Durchlässigkeiten von Ly 1 und/oder Ly 2 zu niedrig, oder es befinden sich drainende Elemente im Untergrund.

Ergebnis zweiter Simulationslauf (Ly 1, kf-Wert wurde erhöht):  
für NBA 1

- Fließrichtung von Osten nach Westen und zum See.
- Grundwasserstände im Bereich der GWM bis 26 cm über dem Seepegel (96,23 bis 96,49 m. ü. NN).

für NBA 2

- Fließrichtung zum See.
- Grundwasserstände im Bereich der GWM von 95,92 bis 96,1 m ü. NN ( 7 bis 25 cm über Seepegel).

Die Wassermengen können noch immer nicht schnell genug abfließen. Es bestehen hier drei Möglichkeiten:

1. die Durchlässigkeit des Hochflutlehms ist größer als angenommen,
2. es könnte Fenster mit größerer Durchlässigkeit in der Lehmdecke geben,
3. es sind drainende Elemente im Untergrund zu finden.

Auch könnte die Lehmdecke an einigen Stellen fehlen. Diese Fenster wären dann vermutlich mit Material aufgefüllt, dessen Durchlässigkeit höher ist.

Ergebnis dritter Simulationslauf (Ly 2, kf-Wert wurde erhöht):  
für NBA 1

- Fließrichtung von Osten nach Westen mit stetigem Gefälle.
- Grundwasserstände alle auf, oder unter Seepegel (96,1 bis 96,23 m ü. NN).
- GWM 8 deutlich niedriger als beobachtet.

für NBA 2

- Fließrichtung von der Mitte sowohl nach Osten, als auch nach Westen und zum See.
- Grundwasserstände immer noch leicht über See (max. 10cm).

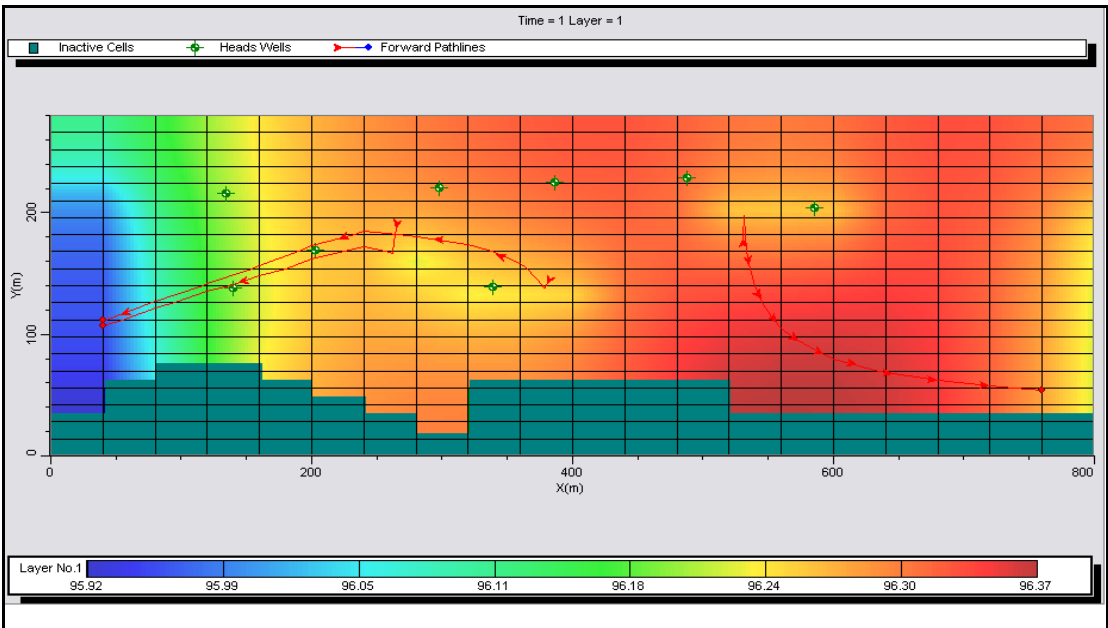
Unter Bedingungen der natürlichen GWNB werden die Grundwasserstände bei NBA 1 teilweise recht gut simuliert. Vermutlich wird sich dies bei Beregnung verändern. Für den NBA 2 verbleibt auch hier noch zuviel Wasser im Boden.

Aus dem Wissen zur Historie des Untersuchungsgebietes könnte es Bereiche geben, in denen die Hochflutlehmdecke fehlt. Diese Fenster könnten dann mit Material aus der Auffüllschicht befüllt worden sein. Dementsprechend wären dann die Durchlässigkeiten an diesen Stellen höher.

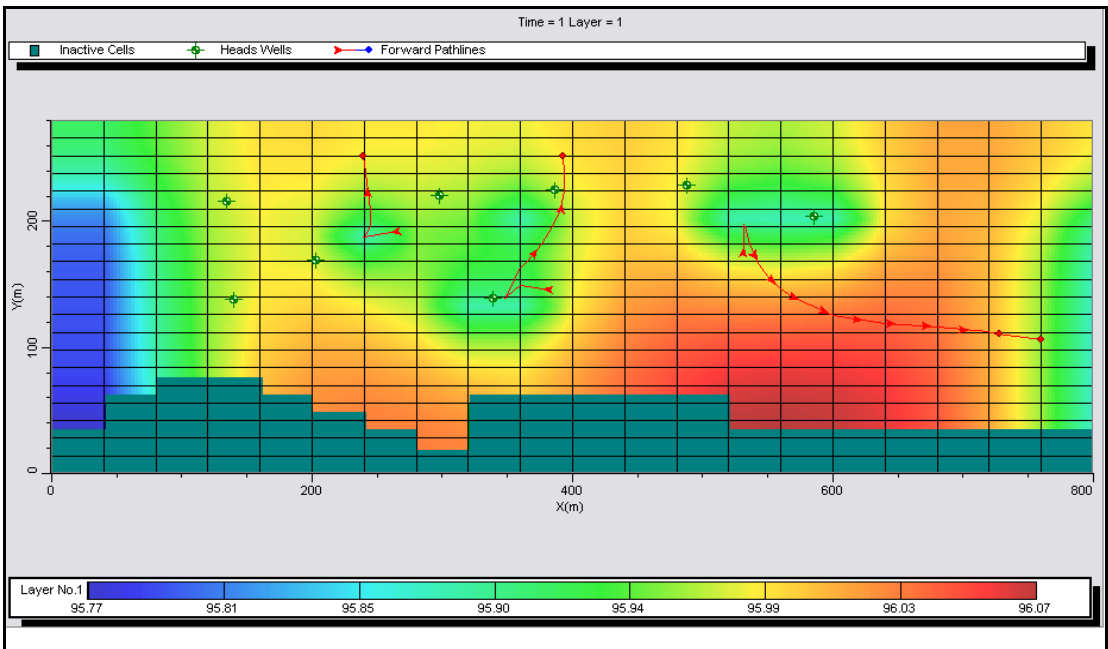
Ergebnis vierter Simulationslauf (Ly 2 kf-Wert auf Beginn, jedoch mit Fenstern):  
für NBA 1 (Abb. 6.5.1)

- Fließrichtung von der Mitte nach Osten und nach Westen.
- Grundwasserstände teilweise leicht über dem Seepegel.
- GWM 8 um etwa 10 cm zu niedrig.





- Fließrichtung zum See.
- Grundwasserstände nur an den Fenstern auf Seehöhe, alle anderen Bereiche über dem Seepegel.



Ergebnis fünfter Simulationslauf (Ly 1 und Ly 2 mit erhöhten kf-Werten, Ly 2 mit Fenstern):

für NBA 1

- Fließrichtung von Osten nach Westen.
- Alle GWM unter Seepegel.

für NBA 2

- Fließrichtung von der Mitte nach Westen und zum See.
- Alle GWM leicht über Seepegel (2 bis 6 cm).
- Grundwassergleichen bilden sehr ähnliches Muster zu den beobachteten Werten.

Unter natürlichen GWNB Bedingungen kann das Wasser im NBA 1 abfließen. Auch treten ähnlich unregelmäßige Muster in den Grundwassergleichen auf, wie sie auf dem Gelände beobachtet wurden.

Ergebnis sechster Simulationslauf (Fenster in Ly 2 und Drainagepunkt in Ly 1):

für NBA 1:

- Fließrichtung im nördlichen Bereich von Osten nach Westen.
- Alle GWM unter Seepegel.
- Eine lokale Senke im Bereich von GWM 7, im Drainbereich.

Für NBA 2:

- Fließrichtung im nördlichen Bereich von Osten nach Westen.
- GWM 1 auf Seehöhe, alle anderen GWM unter See.
- Lokale Senke bei GWM 7, sogar unter beobachtetem Wert.

Mit einer natürlichen GWNB kann das Grundwasser in beiden Simulationen schnell genug abfließen. Vermutlich reichen diese Bedingungen jedoch nicht aus, um die erhöhten Sickerwassermengen ableiten zu können.

Der vierte Simulationslauf lieferte die besten Ergebnisse für den Korrelationskoeffizienten. Von MODFLOW wurde im NBA 1 ein Wert von -0,31, und im NBA 2 ein Wert von -0,866 für den Korrelationskoeffizienten angegeben. Im NBA 1 waren generell nur schlechte Werte zu erzielen, alle anderen Werte lagen bei -0,25 bis -0,06. Daher wird nun der erhöhte RCH mit diesen Einstellungen simuliert.

Ergebnis für Simulationslauf 4.2 (RCH 5475 mm/yr):

für NBA 1:

- Wasserberg unter der Beregnungsfläche (max. 96,82 m ü. NN).
- Alle GWM über Seepegel.
- Muster der Grundwassergleichen ähnlich dem beobachteten.

Für NBA 2:

- Wasserberg unter der Beregnungsfläche (max. 96,71 m ü. NN).
- Alle GWM über Seepegel.
- Fließrichtung zum See, und vom Wasserberg zu den Fenstern.

Ergebnis für Simulationslauf 4.3 (RCH 36500 mm/yr):  
nur NBA 1:

- Wasserberg in Nähe GWM 3 (max. 98,51 m ü. NN).
- Alle GWM deutlich über Seepegel (74 bis 212 cm).
- Fließrichtung vor allem zum See.

Wie vermutet bildet sich ein Wasserberg bei Beregnung aus, dessen Wassermengen nicht schnell genug abfließen können. Eine Erhöhung des Grundwasserspiegels ist die Folge.

### 6.5.2 Instationäre Bedingungen

Ergebnis für Simulationslauf instat 1:

- Vom Start bei 96,1 m ü. NN bis Ende Stressperiode 1 steigen die Grundwasserstände langsam an.
- Alle GWM bleiben unter dem Seepegel.
- Der Niveauabfall von Stressperiode 1 auf Stressperiode 2 wird nicht vollzogen. Das Auslaufen dauert bis zum Ende der Stressperiode 2 an.

Der Niveauabfall wird nicht schnell genug vom Grundwasser vollzogen. Die Abflussmengen über die Westgrenze reichen nicht aus.

Ergebnis für Simulationslauf instat 2:

- In Stressperiode 1 liegen alle GWM unter dem Seepegel.
- Der Auslaufprozess dauert etwa 18 Tage an.
- Am Ende der Stressperiode 2 liegen wieder alle GWM unter dem Seepegel.

Die Erhöhung der Durchlässigkeit von Ly 3 hat das Ergebnis verbessert. Der Grundwasserspiegel sinkt nun wesentlich schneller ab. Um das Verhalten unter berechneten Bedingungen besser abschätzen zu können werden im Simulationslauf instat 3 nun erhöhte GWNB eingesetzt.

Ergebnis für Simulationslauf instat 3:

- Am Ende der Stressperiode 1 liegen die GWM 1 bis GWM 4, GWM 6 und GWM 7 deutlich über dem Seepegel (Abb. 6.5.3).
- Der Wasserberg liegt im Zentrum der Bewässerung.
- Auch der Gradient von GWM 3 nach GWM 1 wird abgebildet.

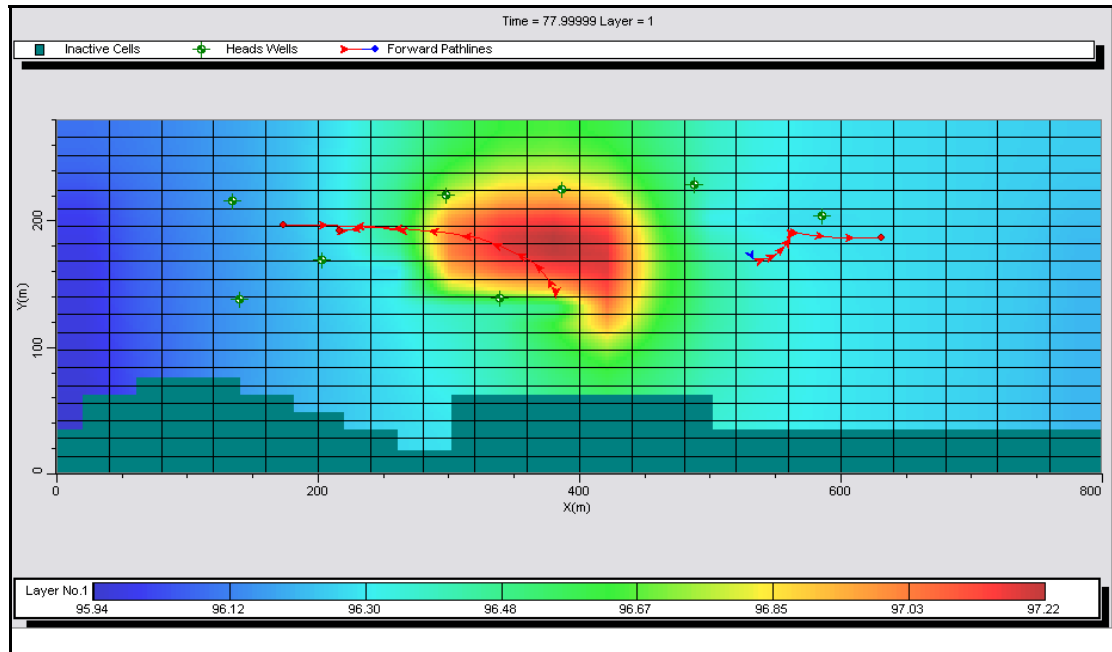


Abbildung 6.5.3: Darstellung der Grundwasserhöhen am Ende der Stressperiode 1 für den Simulationslauf instat 3.

- Der Auslaufprozess ist etwa 10 Tage nach dem Niveauabfall abgeschlossen, jedoch verbleiben die GWM deutlich über dem Seepiegel.
- Auch am Ende der Stressperiode 1 liegen alle GWM über dem Seepiegel (Abb. 6.5.4).

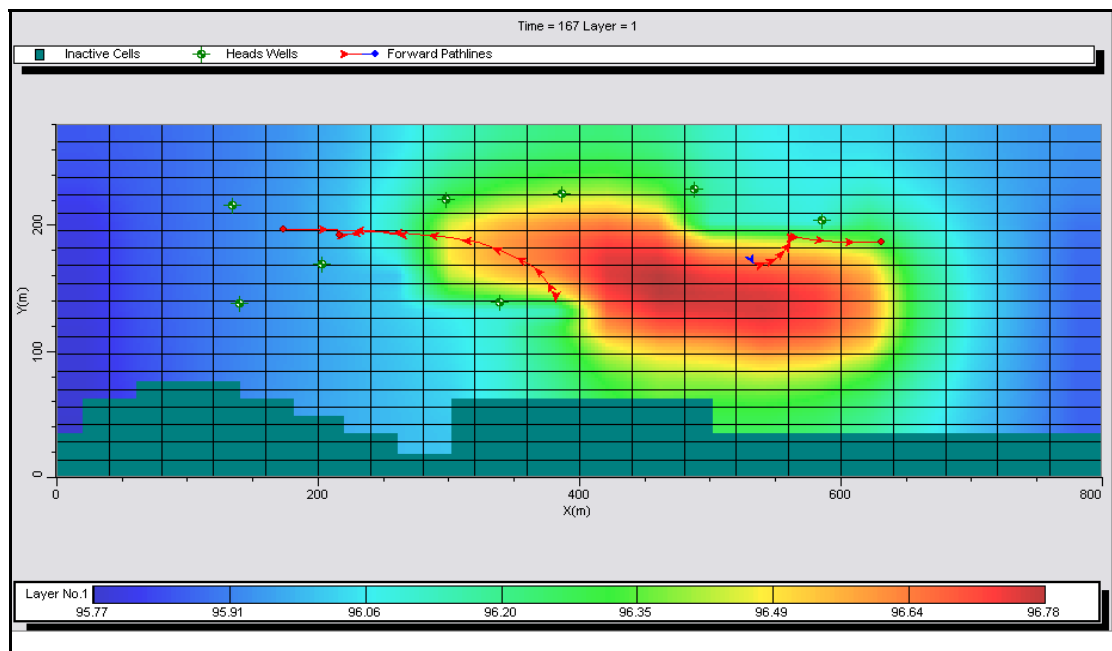
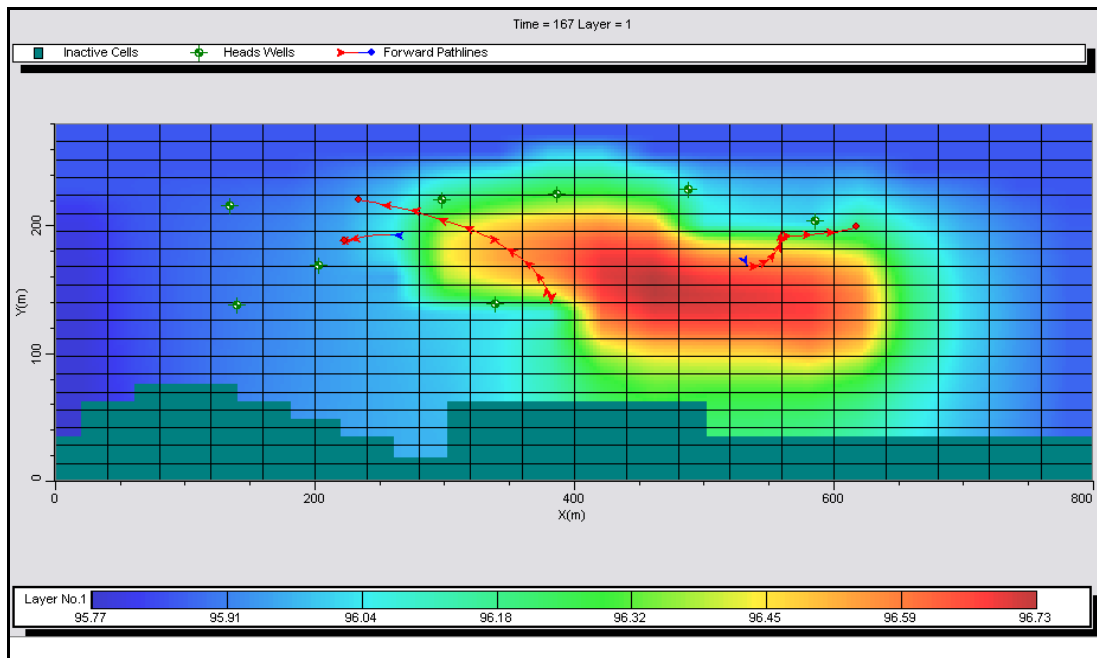


Abbildung 6.5.4: Darstellung der Grundwasserhöhen am Ende der Stressperiode 2 für den Simulationslauf instat 3.

Ergebnis für Simulationslauf instat 4 (Constant Head im Norden):

- GWM 1 bis GWM 4, GWM 6 und GWM 7 stets zu hoch.
- Der Auslaufprozess ist etwa sechs Tage nach dem Niveauabfall beendet. Die Grundwasserstände bleiben jedoch auf deutlich höherem Niveau, als beobachtet wurde (Abb. 6.5.5).



**Abbildung 6.5.5:** Darstellung der Grundwasserhöhen am Ende der Stressperiode 2 für den Simulationslauf instat 4.

Ist das Seeufer nicht kolmatiiert, weist es die gleiche Durchlässigkeit wie der entsprechende Untergrund auf. Hier unterstützt dies zwar einen raschen Auslaufprozess, jedoch bleiben die Grundwasserstände stets über dem Seeniveau.

Ein weiterer Simulationslauf soll das Verhalten für sehr hohe, hydraulische Durchlässigkeiten zeigen. Auch werden, zusätzlich zu den Fenstern in der Hochflutlehmdecke, Drainagepunkte in der Auffüllschicht eingebaut.

Ergebnis für Simulationslauf instat 5 (höchste kF-Werte, Fenster und Drainagepunkte):

- Die Grundwasserstände liegen in beiden Stressperioden zu hoch.
- Der Auslaufprozess ist nach etwa sechs Tagen abgeschlossen.
- Wie erwartet, sinken die Pegel in der Nähe von Drainagepunkten stärker ab.

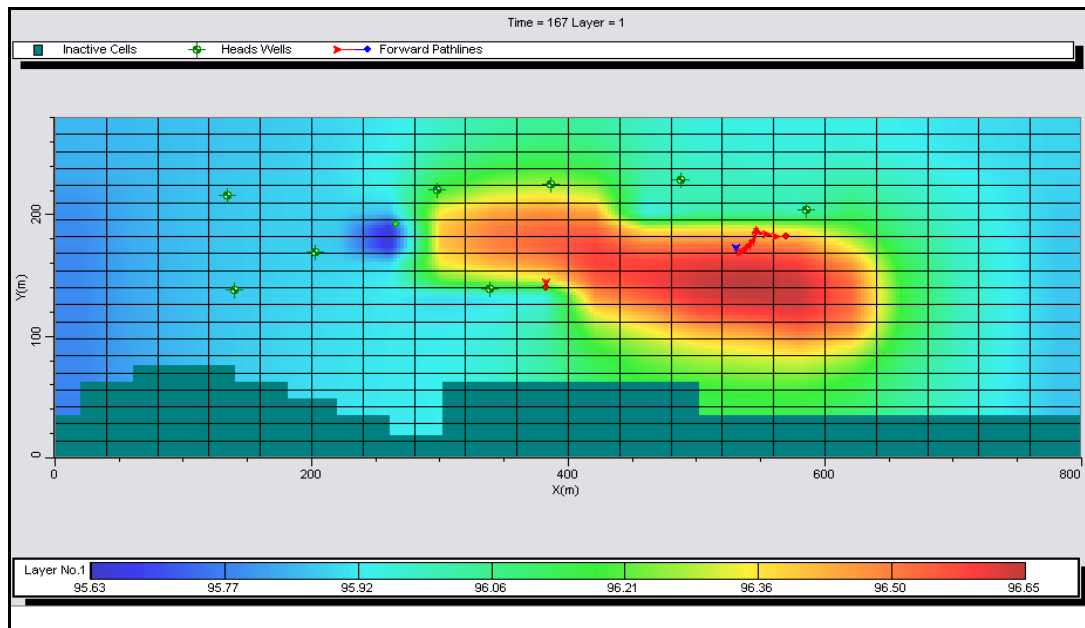


Abbildung 6.5.6: Darstellung der Grundwasserhöhen am Ende der Stressperiode 2 für den Simulationslauf instat 5.

### 6.5.3 Diskussion

Vollkommen gespannte Verhältnisse konnten schon aus den Ergebnissen in Kapitel 6.3 ausgeschlossen werden. Bei gespannten Verhältnissen müssten die gesamten SW in der Auffüllschicht abfließen können. Ein Vergleich der möglichen Grundwasser Abflussmengen im Untersuchungs Gelände (Anhang D Tab. D. 12) mit einer durchschnittlichen SW von 100 mm lässt darauf schließen, dass dies nur mit enormen Grundwassererhöhungen möglich wäre. Auch eine Simulation bestätigt dies zusätzlich. Hier steht das Wasser fast 15 m über der GOK (Anhang D Abb. D. 9).

Für die Simulation wurde  $Ly\ 1$  mit  $k_f\ 10^{-4}$ , und ein RCH von 52 mm/d auf der berechneten Fläche, angenommen. Die restlichen Parameter entsprachen dem ersten Simulationslauf.

Selbst nach einer Erhöhung der Durchlässigkeiten der Auffüllschicht, des Hochflutlehms, sowie des Einbaus von Leitfähigkeitsfenstern im Hochflutlehm, konnten die anfallenden Wassermengen nicht schnell genug aus dem Gelände abfließen. Es kam zu einer deutlichen Erhöhung der Grundwasserstände. Auch wenn eine gute Nachbildung der tatsächlichen Pegelhöhen nicht möglich war, so ist zumindest das Verhalten während der Änderung des Niveaus annähernd identisch. Es wurde ein Abfall um 37 cm innerhalb von etwa 10 Tagen simuliert. Dies deckt sich weitestgehend mit den beobachteten Werten.

Dieser Betrag im Pegelabfall zeigte sich unabhängig von der Höhe des RCH. Auch dies konnte auf dem Untersuchungs Gelände beobachtet werden. Demnach sind die Grundwasserstände hauptsächlich vom Niveau des See abhängig.

Eine weitere Erhöhung der Durchlässigkeiten im Modell, zur Schaffung ausreichender Abflussvolumina, wäre besonders für den Hochflutlehm unrealistisch. Eine vollkommene Abwesenheit des Hochflutlehms kann von Grund auf ausgeschlossen werden. Auch ist anzumerken, dass die verwendeten Neubildungsraten, unter dem Beregnungszustand, Minimalmengen darstellen. Eine Überschätzung der SW ist daher als unwahrscheinlich zu betrachten.

Die Durchlässigkeit des Seeufers kann ebenfalls nicht erhöht werden. Zwar könnte das überschüssige Wasser hier schneller abfließen, jedoch würde bei Grundwasserständen, die unter dem Seepegel liegen, ein ebenso großer Zustrom ermöglicht. Die Folge wären Grundwasserstände, welche sich mindestens auf Höhe des Seeniveaus bewegen würden. Bei zusätzlicher Beregnung steigen diese dann jedoch ausnahmslos über das Seeniveau an. Dies wird auch durch den Simulationslauf instat 4 bestätigt.

Eine Berechnung der nach dem DARCY-Gesetz (MULL und HOLLÄNDER, 2002) möglichen Durchflussmengen, bestätigt diese Annahme zusätzlich (Anhang D Tab. D. 12). Bei einem nicht komlatierten Ufer lägen die möglichen Zuflussmengen um das 8-fache über den möglichen Abflussmengen.

Die beobachteten Werte weisen keine stark erhöhten Grundwasserstände auf. Deshalb müssen weitere Faktoren für den ausreichenden Grundwasserabfluss verantwortlich sein. Dies könnten unbekannte Drainagen bzw. drainend wirkende Elemente in der Auffüllschicht, oder weitere Fenster in der Hochflutlehmdecke sein. Auch ein Zusammentreffen beider Möglichkeiten wäre denkbar. Eine Drainage oder ein Drainagepunkt, könnte ebenfalls eine Erklärung für das Plateau der GWM 7 im NBA 1 sein.



## 7. Schlussfolgerungen

In Bezug auf die Strömungsverhältnisse können verschiedene Aussagen getroffen werden.

Der Hengsteysee ist entlang seines Südufers sehr flach und weist nur geringe Fließgeschwindigkeiten auf. So ist von einer, zumindest teilweisen, kolmativen Abdichtung des Seeufers auszugehen.

Zwischen der Auffüllschicht und der alluvialen Kiesschicht muss eine hydraulische Verbindung bestehen. Auch kann der Kiesaquifer in diesem Bereich keine vollkommen gespannten Verhältnisse aufweisen. Beides wird durch den Nachweis von Atrazin in den GWM bestätigt. Mit Blick auf die Historie des Untersuchungsgebietes gibt es vermutlich Stellen, an denen die Hochflutlehmdecke fehlt. Diese Fenster sind dann mit durchlässigerem Material aufgefüllt worden.

Aus den Ergebnissen der Gradientenermittlung und der verschiedenen Simulationsläufe ergeben sich verschiedene Schlussfolgerungen:

1. Der kf-Wert der Auffüllschicht liegt zwischen  $10^{-4}$  m/s und  $10^{-3}$  m/s.
2. Der kf-Wert des komlatierten Seeufers liegt höchstens bei  $10^{-5}$  m/s.
3. Die Hochflutlehmdecke ist keine geschlossene Sperrschicht, sondern weist Bereiche mit erhöhten Durchlässigkeiten auf.
4. Der Grundwasserabfluss erfolgt in südwestlicher Richtung. Auch das zeitversetzte Auftreten von Atrazin in der GWM 6 weist auf diese Abflussrichtung hin.
5. Bis auf wenige Ausnahmen ist ein Austritt des Grundwassers in den See auf Grund der Pegeldifferenzen zwischen See und Grundwasser unwahrscheinlich. Diese Aussage trifft nicht auf etwaige vorhandene, baulich bedingte, Einleitungen zu.
6. Der Kiesaquifer steht mit dem Seepegel in Verbindung. Eine Druckübertragung muss dabei nicht am angrenzenden Ufer stattfinden, sondern kann auch aus dem Bereich des ehemaligen Flussbettes der Ruhr stammen.

Die Strömungsverhältnisse konnten leider nicht gänzlich geklärt werden. Es bestehen immer noch Unklarheiten im Bezug auf den genauen Verbleib der Abflussmengen. Selbst mit erhöhten Durchlässigkeiten, und der Berücksichtigung von Fenstern, war es in der Simulation nicht möglich, die minimal anfallenden SW in ausreichendem Maße abfließen zu lassen. Eine Ableitung der Wassermengen durch eine weitere Erhöhung der Durchlässigkeiten wäre unrealistisch.

Das aufgetretene Abflussvolumen könnte von unbekannten Drainagen abgeleitet worden sein. Auch hierzu ergibt sich aus der Historie eine Möglichkeit. Der Randkanal und seine Zuläufe durchziehen das gesamte Gebiet. Durch eine Drainage würde das Grundwasser dann entweder in eine unbekannte Richtung abfließen, oder dem Randkanal zugeführt werden. Da der Randkanal und seine Zuläufe nicht mit Sicherheit vollständig erfasst sind, kann es durchaus unbekannte Zuläufe mit drainender Wirkung geben.

In diesem Zusammenhang könnte die auffällige Plateauphase der GWM 7 auf eine Drainage im dortigen Untergrundbereich hinweisen. Die Tatsache, dass sich in der Nähe auch ein bekannter Zulauf zum Randkanal befindet, spricht ebenfalls für diese These.

Einfluss der Strömungsverhältnisse auf die Verlagerung des Atrazin:

Neben den natürlichen Verlagerungsvorgängen kann ein Teil des nachgewiesenen Atrazin durch die erhöhten SW ausgewaschen worden sein. Diese Auswaschungen sind vermutlich mehr auf die Wassermengen, und weniger auf stoffliche Veränderungen zurückzuführen. Ein Zusammenhang zu einem in dieser Arbeit betrachteten Parameter wurde nicht ersichtlich. Daher könnte auch ein länger starkes Niederschlagsereignis diesen Auswaschungseffekt bewirken.

Das Atrazin wurde mit dem Grundwasserabfluss in südwestlicher Richtung verlagert. Während dieser Verlagerung unterlag das Atrazin Sorptions- und Degradationsprozessen, sowie einer starken Verdünnung. Ein großer Teil der Stoffmenge wurde höchstwahrscheinlich ganz aus dem Grundwasser entfernt. Nach den vorliegenden Ergebnissen konnte daher ein Risiko der Verunreinigung der Grundwasserbrunnen der Wassergewinnungsanlage nahezu ausgeschlossen werden. Auch für zukünftige Fälle kann vermutlich mit einem ähnlichen Verhalten gerechnet werden.

Sollte das Ufer durch Kolmationsprozesse nicht vollkommen abgedichtet worden sein, könnte im Bereich der GWM, die über dem Tagespegel lagen, Grundwasser in den Hengsteysee ausgeflossen sein. Die aufgetretenen Konzentrationen sanken dann, durch eine starke Verdünnung mit dem Seewasser, auf Werte unterhalb des zulässigen Geringfügigkeitsschwellenwertes ab. Abbauprozesse trugen wegen der geringen Verweilzeit vermutlich kaum zur Konzentrationsminderung bei. Zudem wurde voraussichtlich ein Teil des Atrazin partikulär gebunden und im Seesediment abgelagert. Das Risiko einer Kontamination der Rohwasserfassung mit erhöhten Atrazinwerten wurde daher in dieser Arbeit als äußerst gering eingeschätzt. Eine Übertragung dieser Einschätzung auf zukünftige Fälle erscheint möglich.

Sollten aktive Drainagen im Untergrund vorhanden sein, könnte hiervon ein gesteigertes Gefahrenpotential ausgehen. Um abschätzen zu können wie sich Atrazin verhält, welches mit gedraintem Grundwasser verlagert wurde, müssten die Bedingungen am Endpunkt der Drainage bekannt sein. Von einer Verringerung der Konzentrationen auf dem Transportweg kann hier nicht ausgegangen werden.

Ausblick:

Aufklärung zur Frage möglicher Drainagen könnte ein Markierversuch geben. Dabei sollten unter anderem der Auslass des Randkanals und auch entlang des Ufers beprobt werden.

Grundsätzlich ist von einer Abnahme der Konzentrationen aller Schadstoffe mit der Zeit zu rechnen. Die letzten Einträge fanden vermutlich kurz vor Stilllegung des Rangierbahnhofes statt. Demnach konnten nun, über einen Zeitraum von gut 20 Jahren, Abbauprozesse und natürliche Auswaschung zur Schadstoffminderung beitragen. Die weitaus größten Atrazinmengen sollten also bereits aus dem Untergrund verschwunden sein.

## **Schlussfolgerungen**

---

Eine verstärkte Mobilisierung des Atrazin konnte im Zusammenhang mit dem Holznasslager nicht festgestellt werden. Einer erneuten Nutzung dieses Geländes als Holznasslager steht aus diesem Gesichtspunkt heraus nichts entgegen.

Der Datenumfang des Überwachungsprogramms bietet noch immer Potenzial für weitere wissenschaftliche Arbeiten. So wären geländebezogene Untersuchungen zum Verhalten der PAK, oder der Schwermetalle, möglich. Auf diese Weise könnte ein detailliertes Wissen über die Untergrundbeschaffenheit des Untersuchungsgeländes entstehen.

## 8. Literatur

**ALBRECHT F., 1950:** Die Methoden zur Bestimmung der Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche. Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol. B2, 1-38

**AMTSBLATT DER EUROPÄISCHEN UNION, 2004:** 16.3.2004, L 78/53, Entscheidung der Kommission vom 10. März 2004 über die Nichtaufnahme von Atrazin in Anhang I der Richtlinie 91/414/EWG des Rates und den Widerruf der Zulassungen für Pflanzenschutzmittel mit diesem Wirkstoff, Aktenzeichen K(2004) 731

**AGL, 2009:** geologische, historische und aktuelle Karten der Blätter 4510-Witten und 4610-Hagen, Hersg. Stadt Hagen –Amt für Geoinformation und Liegenschaftskataster, Hagen

**BÄRTLING, 1930:** Die geologischen Verhältnisse in der Umgebung des Hengsteysees, Hersg. Seegesellschaft m. b. H. Hengstey, Selbstverlag, Essen-Ruhrhaus

**BEZIRKSREGIERUNG ARNSBERG, 2007:** Erlaubnis zur Entnahme von Wasser aus der Ruhr zum Betrieb eines vorübergehend angelegten Nassholzlagerplatzes im Bereich Hagen-Hengstey, Arnsberg

**BMU, 2007:** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; Emissionsminderung für prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie - Stoffdatenblätter -, Datenblatt Nr. 3: Atrazin; Texte 29/07, Forschungsbericht 203 21 280

**BLUME E., BISCHOFF M., MOORMAN T.B. and TURCO R.F., 2004:** Degradation and Binding of Atrazine in Surface and Subsurface Soils. J. Agric. Food Chem. 2004, 52, 7382-7388

**BORGA P., ELOWSON T. und LIUKKO K., 1996-I:** Environmental Loads from water-sprinkled softwood timber. 1. Characteristics of an open and a recycling watering system, Environ. Toxic. and Chem., Vol. 15, No. 6, pp. 856-867,

**BORGA P., ELOWSON T. und LIUKKO K., 1996-II:** Environmental Loads from water-sprinkled softwood timber. 2. Influence of tree species and water characteristics on wastewater discharges, Environ. Toxic. and Chem., Vol. 15, No. 9, pp. 1445-1454

**BOUCHARD D.C., 1999:** Sorption of vinclozolin and atrazine on four geosorbents. Pesticide Science 1999, 55, 1095-1102

**CAPRIEL P. und HAISCH A., 1983:** Persistenz von Atrazin und seiner Metaboliten im Boden nach einmaliger Herbizidanwendung, Z. Pflanzenernaehr. Bodenk. 146, pp. 474-480

**COQUET Y., 2003:** Sorption of Pesticides Atrazine, Isoproturon and Metamitron in the Vadose Zone. Vadose Zone Journal 2003, 2:40-51

**COQUET Y., RIBIÈRE C. and VACHIER P., 2004:** Pesticide adsorption in the vadose zone: a case study on Eocene and Quaternary materials in Northern France. *Pest Manag Sci* 2004, 60:992-1000

**CELANO G., ŠMEJKALOVÁ D., SPACCINI R. and PICCOLO A., 2008:** Interactions of Three s-Triazines with Humic Acids of Different Structure. *J. Agric. Food Chem.* 2008, 56, 7360-7366

**CELIS R., HERMOSIN M.C., COX L. and CORNEJO J., 1999:** Sorption of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid by model soil particles simulating naturally occurring soil colloids. *Environ Sci Technol* 1999, 33:1200-1206

**DILLO H.G., DANNEMANN H. und WIESE V., 1991:** „Gleisanlage am Hengsteysee, Hagen - Untersuchung auf Untergrundverunreinigungen -“. Erdbaulaboratorium Ahlenberg, 5804 Herdecke, Bearb. Nr. 91/6544,

**DRORI Y., AIZENSHTAT Z. und CHEFETZ B., 2005:** Sorption-Desorption Behavior of Atrazin in Soils Irrigated with Reclaimed Wastewater, *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 69, pp. 1703-1710

**DWD (Deutscher Wetterdienst), 2009:** Stationen: Hagen-Fley ID 1920 und Lüdenscheid ID 1196, Beaufort-Skala, Referat Datenservice, Offenbach

**FLUHME, 2007:** Schichtenverzeichnis, für Bohrungen ohne durchgehende Gewinnung von gekernten Proben. Fluhme & Sohn GmbH, Bergkamen, Projekt-Nr. 1987164

**FORSTAMT, 2007:** Kyrill und seine Folgen. Zwischenbericht des Forstamtes Hagen an den Rat der Stadt, im September 2007

**FRANZ und WINTER, 1930:** Die Bauarbeiten am Hengsteysee, in *Der Hengsteysee im neu gestalteten Ruhrtal als Erholungsstätte und Kraftquelle*, Hergs. Seegesellschaft m. b. H. Hengstey, Selbstverlag, Essen-Ruhrhaus

**HAD, 2000:** Hydrologische Atlas von Deutschland. Hergs. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn

**HANG S., HOUOT S. und BARRIUSO E., 2007:** Vertical variation of atrazine mineralization capacity in soils, *AGRISCIENTIA* Vol. XXIV (2), pp. 87-95

**HERWIG U., KLUMPP E., NARRES H.-D. and SCHWUGER M.J., 2001:** Physiochemical interactions between atrazine and clay minerals. *Applied Clay Science* 2001, 18, 211-222

**HÖLTING B., 1996:** Hydrogeologie: Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie. Enke Verlag Stuttgart

**HUANG G., LI Q. and ZHANG X., 2003:** Adsorption and Desorption of Atrazine by Three Soils. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2003, 71:655-661

**ISSA S., WOOD M., PUSSEMIER L., VANDERHEYDEN V., DOUKA C., VIZANTINOPOULOS S., GYORI Z., BORBELY M. und KATAI J., 1997:** Potential Dissipation of Atrazin in the Soil Unsaturated Zone: a Comparative Study in Four European Countries, *Pestic. Sic.* Vol. 50, pp. 99-103

**ITTEL-REINLASSÖDER I., 1991:** Überwachung der Wasserqualität an Nasslagerplätzen, *AFZ* 5/1991, S. 248-251

**LAWA, 2004:** Ableitung von Geringfügigkeitsschwellenwerten für das Grundwasser, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser, im Dezember 2004, Kulturbuch Verlag Berlin

**LIMA D.L., SCHNEIDER R.J., SCHERER H.W., DUARTE A.C., SANTOS E.B.H. and ESTEVES V.I., 2010:** Sorption-Desorption Behavior of Atrazine on Soils Subjected to Different Long-Term Amendments. *J. Agric. Food Chem.* 2010, 58(5), 3101-3106

**McGLAMOREY M.D. and SLIFE F.W., 1966:** The Adsorption and Desorption of Atrazine as Affected by pH, Temperature and Concentration. *Weeds* 1966, Vol. 14, No. 3, pp. 237-239

**MARK-E, 2009:** Daten und Informationen aus persönlichem Kontakt mit Herrn Strücker, Mark-E Aktiengesellschaft, Hagen

**MULL R. und HOLLÄNDER H., 2002:** Grundwasserhydraulik und Hydrologie: eine Einführung, Springer Verlag, Heidelberg

**NEMETH-KONDA L., FÜLEKY Gy., MOROVJAN Gy. und CSOKAN P., 2002:** Sorption behaviour of acetochlor, atrazine, carbendazim, diazinon, imidacloprid and isoproturon on Hungarian agricultural soil, *Chemosphere* Vol. 48, pp. 545-552

**ODENTHAL-KAHABKA J., 2005:** Handreichung Sturmschadensbewältigung, Hrsg. Landesforstverwaltung Baden-Württemberg und Landesforsten Rheinland-Pfalz

**PEEK R.D. und LIESE W., 1977:** Die Auswirkungen der Naßlagerung von Sturmholz auf die Qualität des Ablaufwassers, *Forstw. Cbl.* 96 (1977), 348-357, Paul Parey Verlag Hamburg

**RUHRVERBAND, 2008:** Ruhrwassermenge 2007. Selbstverlag Essen, ISSN 1861-7557

**RUHRVERBAND-2, 2009:** Daten und Informationen aus persönlichem Kontakt mit Herrn Brinkmann, Ruhrverband, Regionalbereich Mitte, Betrieb Stauseen St1, Hagen

**RWE, 2009:** Infoblatt „Pumpspeicherkraftwerk Herdecke“. RWE Power AG, Regenerative Erzeugung, Andernach

**SCHEFFER F.; SCHACHTSCHABEL P., BLUME H.-P., HARTIGE K.H., BRÜMMER G.W. UND SCHWERTMANN U., 2002:** Lehrbuch der Bodenkunde, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg, 15. Auflage

**SKARK C. und REMMLER F., 2007:** Orientierende Risikoabschätzung zur vorgesehenen Anlage eines Holz-Nasslagerplatzes in Hagen-Hengstey. Institut für Wasserforschung GmbH, Schwerte, April 2007

**SORGE C., SCHULTEN H.-R., WEYANDT R.G., KAMP N. und BRECHTEL M., 1994:** Influence of Wet Storage of Spruce Wood on Groundwater Quality: Investigations by Water-Chemical Methods, Pyrolysis-Fieldionization Mass Spectrometry and Luminescent-Bacteria Bioassay, Intern. J. Environ. Anal. Chem., Vol. 57, pp. 1-8

**SPARAGUE L.A., HERMAN J.S., HORNBERGER G.M. and MILLS A.L., 2000:** Atrazine Adsorption and Colloid-Facilitated Transport through the Unsaturated Zone. J. Environ. Qual., 29:1632-1641

**SPARK K.M. und SWIFT R.S., 2002:** Effect of soil composition and dissolved organic matter on pesticide sorption. Sci Tot. Environ. 2002, 298, 147-161

**STADTWERKE HAGEN, 1998:** Wasserschutzgebiet Hengstey Stadtwerke Hagen in Wasserschutzgebietsverordnung vom 06.02.1998, G.Z. 54.1.11-I, Bezirksregierung als obere Wasserbehörde, Arnsberg

**STIPIČEVIĆ S., FINGLER S. and DREVENKAR V., 2009:** Effect of Organic and Mineral Soil Fractions on Sorption Behaviour of Chlorophenol and Triazine Micropollutants. Arh Hig Rada Toksikol 2009, 60:43-52

**STORA ENSO, 2009:** Holznasslager Hengsteysee 2007, Daten und Informationen aus persönlichem Kontakt mit Herrn Löffermann, Stora Enso GmbH, Hagen,

**TORKZABAN S., BRADFORD S., van GENUCHTEN M. TH. und WALKER S. L., 2008:** Colloid transport in unsaturated porous media: The role of water content and ionic strength on particle straining, Journal of Contaminant Hydrology Vol. 96, pp. 113-127

**TrinkwV, 2001:** Verordnung der Novellierung der Trinkwasserverordnung vom 21. Mai 2001, Bundesgesetzblatt Teil I Nr. 24, 959 ff

**UMWELTAMT, 2009:** Daten und Informationen aus persönlichem Kontakt mit Frau Stiller-Ludwig, Umweltamt der Stadt Hagen, Untere Wasser-/ Bodenschutz-/ Abfallwirtschaftsbehörde, Hagen,

**UMWELTBUNDESAMT (AT), 2005:** Datenband „Porengrundwasser 2008“, Datenstand: Dezember 2005, Parameterinformationsblatt Atrazin und Desethylatrazin.

**VANDERHEYDEN V., DEBONGNIE P. und PUSSEMIER L., 1997:** Accelerated Degradation and Mineralization of Atrazine in Surface and Subsurface Soil Materials, Pestic. Sci. 1997 Vol. 49, pp. 237-242

**WARD R.C. und ROBINSON M., 2000:** Principles Of Hydrology. McGraw-Hill Publishing Company, Berkshire, England

**WATERLOO, 2003:** Visual MODFLOW Pro User's Manual. Waterloo Hydrogeologic Inc., Ontario, Kanada, Visual MODFLOW v.3.1 User's Manual 01/03

**WIKIPEDIA, 2010:** [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de),  
[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/25/Verlaufskarte\\_Ruhr2.png](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/25/Verlaufskarte_Ruhr2.png),  
**15.03.2010**



**ZHUANG J., TYNER J.S. und PERFECT E., 2009:** Colloid transport and remobilization in porous media during infiltration and drainage, Journal of Hydrology Vol. 377, pp. 112-119

**ZMARSLY E., KUTTLER W. und PETHE H., 1999:** Meteorologisch- klimatologisches Grundwissen: Eine Einführung mit Übungen, Aufgaben und Lösungen. Ulmer Verlag, Stuttgart

## 9. Anhang

### A Anhang zum Untersuchungsgelände



**Abbildung A.1:** Uferbefestigung des Südufers des Hengsteysees. Linke Seite: Uferstreifen mit Seepumpe in 2007 (STORA ENSO, 2009). Rechte Seite: Ufer im Dezember 2009, an ähnlicher Stelle wie Bild links.



**Abbildung A.2:** Junger Birkenwald vor der Rodung auf dem Untersuchungsgelände (STORA ENSO, 2009).





**Abbildung A.3: Untersuchungsgelände zum Ende der Rodungs- und Vorbereitungsarbeiten. Im Vordergrund ist der wieder zutage tretende Schotter erkennbar (STORA ENSO, 2009).**



**Abbildung A.4: Auf dem Untersuchungsgelände im Dezember 2009. Linke Seite: Spärliche Vegetation auf dem geräumten Holznasslagerplatz. Rechte Seite: Freiliegender Schotter im Randbereich.**

## B Anhang zur Datenlage

**Tabelle B.1: Liste der Parameter und Stoffe des Monitoringplans (STORA ENSO, 2009).**

| Gruppe                     | Langbezeichnung                                    | Abkürzung            | Einheit |
|----------------------------|--|----------------------|---------|
| Vor Ort Parameter          | Grundwasserstand                                   | GW_STANDNN           | m ü. NN |
|                            | Leitfähigkeit vor Ort                              | LF_VO                | µS/cm   |
|                            | Temperatur Luft vor Ort                            | Ltemp_VO             | °C      |
|                            | Temperatur vor Ort                                 | Wtemp_VO             | °C      |
|                            | pH vor Ort   | pH_VO                |         |
|                            | Sauerstoffgehalt vor Ort                           | O2_VO                | mg/l    |
| Summenparameter            | Chlorophyll a                                      | Chloro_a             | µg/l    |
|                            | SAK 436 nm (Färbung)                               | Färb436_AC           | 1/m     |
|                            | SAK 254 nm (UV-Absorption)                         | SAK254_AC            | 1/m     |
|                            | DOC  | DOC_AC               | mg/l    |
|                            | TOC  | TOC_AC               | mg/l    |
|                            | Trübung  | Trüquan_AC           | FNU     |
| Stickstoff-Verbindungen    | Ammonium   | CFA_NH4              | mg/l    |
|                            | Nitrit   | CFA_NO2              | mg/l    |
|                            | Nitrat   | CFA_NO3              | mg/l    |
|                            | Ammonium-N   | NH4-N_AC             | mg/l    |
|                            | Nitrit-N   | NO2-N_AC             | mg/l    |
|                            | Nitrat-N   | NO3-N_AC             | mg/l    |
|                            | Gesamt gebundene Stickstoff (TN <sub>b</sub> H 27) | TNB_AC               | mg/l    |
|                            | organischer Stickstoff berechnet                   | Norg_ber             | mg/l    |
| Ionen                      | Chlorid  | IC_Cl                | mg/l    |
|                            | Sulfat   | IC_SO4               | mg/l    |
|                            | Kalium   | ICP_K                | mg/l    |
|                            | Phosphor   | ICP_P                | mg/l    |
| Metalle u.ä.               | Arsen  | MS_As                | mg/l    |
|                            | Blei   | MS_Pb                | mg/l    |
|                            | Cadmium  | MS_Cd                | mg/l    |
|                            | Chrom  | MS_Cr                | mg/l    |
|                            | Kupfer   | MS_Cu                | mg/l    |
|                            | Nickel   | MS_Ni                | mg/l    |
|                            | Quecksilber  | AAS_Hg               | mg/l    |
|                            | Zink   | MS_Zn                | mg/l    |
| Organische Summenparameter | Kohlenwasserstoffe (H 53)                          | KW/H53               | mg/l    |
|                            | Phenol-Index                                       | Phenol-Ind           | mg/l    |
| PAK EPA                    | Acenaphthen  | Acenaphthen          | µg/l    |
|                            | Acenaphthylen                                      | Acenaphthylen        | µg/l    |
|                            | Anthracen  | Anthracen            | µg/l    |
|                            | Benz[a]anthracen                                   | Benz[a]anthracen     | µg/l    |
|                            | Benzo[a]pyren                                      | Benzo[a]pyren        | µg/l    |
|                            | Benzo[b]fluoranthen (T)                            | Benzo[b]fluoranth(T) | µg/l    |
|                            | Benzo[g,h,i]perylene (T)                           | Benzo[g,h,i]peryl(T) | µg/l    |
|                            | Benzo[k]fluoranthen (T)                            | Benzo[k]fluoranth(T) | µg/l    |
|                            | Chrysen  | Chrysen              | µg/l    |
|                            | Dibenz[a,h]anthracen                               | Dibenz[a,h]anthracen | µg/l    |
|                            | Fluoranthen  | Fluoranthen          | µg/l    |
|                            | Fluoren  | Fluoren              | µg/l    |
|                            | Indeno[123cd]pyren (T)                             | Indeno[123cd]pyr(T)  | µg/l    |
|                            | Naphthalin   | Naphthalin           | µg/l    |
|                            | Phenanthren  | Phenanthren          | µg/l    |
|                            | Pyren  | Pyren                | µg/l    |
|                            | Summe PAK EPA                                      | Summe PAK_EPA        | µg/l    |
|                            | Summe PAK TrinkwV                                  | Summe PAK_TV0        | µg/l    |

| Gruppe                     | Langbezeichnung | Abkürzung            | Einheit |
|----------------------------|-----------------|----------------------|---------|
| PBSM-HOLZ1                 |                 | 2,4-D                | µg/l    |
|                            |                 | Atrazin              | µg/l    |
|                            |                 | Bentazon             | µg/l    |
|                            |                 | Bromacil             | µg/l    |
|                            |                 | Bromoxynil           | µg/l    |
|                            |                 | Chloridazon          | µg/l    |
|                            |                 | Chlortoluron         | µg/l    |
|                            |                 | Clopyralid           | µg/l    |
|                            |                 | Desethylatrazin      | µg/l    |
|                            |                 | Desethylterbutylazin | µg/l    |
|                            |                 | Dichlorprop          | µg/l    |
|                            |                 | Diuron               | µg/l    |
|                            |                 | Fluroxypyr           | µg/l    |
|                            |                 | Hexazinon            | µg/l    |
|                            |                 | Ioxynil              | µg/l    |
|                            |                 | Isoproturon          | µg/l    |
|                            |                 | MCPA                 | µg/l    |
|                            |                 | Mecoprop             | µg/l    |
|                            |                 | Metamitron           | µg/l    |
|                            |                 | Metazachlor          | µg/l    |
|                            |                 | Methabenzthiazuron   | µg/l    |
|                            |                 | Metolachlor          | µg/l    |
|                            |                 | Metribuzin           | µg/l    |
|                            |                 | Pendimethalin        | µg/l    |
|                            |                 | Simazin              | µg/l    |
|                            |                 | Terbutylazin         | µg/l    |
| PBSM-HOLZ2                 |                 | Bifenox              | µg/l    |
|                            |                 | Carbetamid           | µg/l    |
|                            |                 | Carfentrazon         | µg/l    |
|                            |                 | Clodinafop           | µg/l    |
|                            |                 | Diflufenicam         | µg/l    |
|                            |                 | Dimefuron            | µg/l    |
|                            |                 | Ethofumesat          | µg/l    |
|                            |                 | Fenoxaprop           | µg/l    |
|                            |                 | Flufenacet           | µg/l    |
|                            |                 | Flurtamon            | µg/l    |
|                            |                 | Phenmedipham         | µg/l    |
|                            |                 | Prosulfocarb         | µg/l    |
|                            |                 | Quinmerac            | µg/l    |
| PBSM-HOLZ3                 |                 | Alpha-Cypermethrin   | µg/l    |
|                            |                 | lambda-Cyhalothrin   | µg/l    |
| Perfluorierte Verbindungen |                 | PFOA [-octanoat]     | ng/l    |
|                            |                 | PFOS [octylsulfonat] | ng/l    |

Ende Tabelle B. 1.

**Tabelle B.2: Beprobungsplan 1, erste Beprobung am 15.06.2007, letzte Beprobung am 27.09.2007 (STORA ENSO, 2009).**

| Beprobungsplan 1  |                                    |           |                  |             |                 |
|---|------------------------------------|-----------|------------------|-------------|-----------------|
| Parameterliste mit Zuordnung zu den Messstellen                     |                                    |           |                  | 16.05.2007  |                 |
| Messstellen :   | Oberfl.-W.                         |           |                  | Grundwasser | Beregn.Abwasser |
| Parameter   | oberstrom                          | unterhalb | Rohwasserfassung | alle 8      | Querschn. 1     |
| pH, LF, T, O <sub>2</sub>   | x                                  | x         | x                | x           | x               |
| Kalium  | x                                  |           |                  |             | x               |
| DOC   | x                                  | x         | x                | x           | x               |
| TOC   | x                                  | x         | x                | x           | x               |
| Nges. (TN)  | x                                  | x         | x                | x           | x               |
| NH <sub>4</sub> -N  | x                                  | x         | x                | x           | x               |
| NO <sub>3</sub> -N  | x                                  | x         | x                | x           | x               |
| NO <sub>2</sub> -N  | x                                  | x         | x                | x           | x               |
| Norg., berechnet Nanorg/TN  | (x)                                | (x)       | (x)              | (x)         | (x)             |
| Pges.   | x                                  | x         | x                | x           | x               |
|   |                                    |           |                  |             |                 |
| Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn  | x                                  | x         | x                | x           | x               |
| Hg, As  | x                                  | x         | x                | x           |                 |
|   |                                    |           |                  |             |                 |
| PAK (EPA)   | x                                  | x         | x                | x           |                 |
| KW-Index  | nur wenn im Grundwasser positiv    |           |                  | x           |                 |
|   |                                    |           |                  |             |                 |
| Herbizide (Triazine), PBSM (TrinkVO) siehe Tabelle 2                | x                                  | x         | x                | x           |                 |
| Forst -Insektizide (Alpha-Cypermethrin und lambda-Cyhalothrin)      |                                    |           |                  |             | x               |
| holzbürtige Einzelstoffe (Phenole, Harzsäuren, (Rinden-)Gerbstoffe) | nur wenn im Beregnungsabw. > 1µg/L |           |                  |             | x               |
| SAK 254 u. 436  | x                                  | x         | x                | x           | x               |
| Trübung (NTU)   | x                                  | x         | x                | x           | x               |
| SO <sub>4</sub> , Cl  | x                                  | x         | x                | x           | x               |
| Chlorophyll a   |                                    |           | x                |             |                 |
| Grundwasserstand müNN   |                                    |           |                  | x           |                 |
| x wöchentlich   |                                    |           |                  |             |                 |

**Tabelle B.3: Beprobungsplan 2 gültig ab KW 42. Erste Beprobung am 18.10.2007, letzte Beprobung am 13.12.2007 (STORA ENSO, 2009).**

| <b>Beprobungsplan 2</b>                         |              |                   |                   |              |                 |                   |
|---|--------------|-------------------|-------------------|--------------|-----------------|-------------------|
| Parameterliste mit Zuordnung zu den Messstellen |              |                   |                   |              |                 |                   |
| Messstellen                                     | Oberfl.-W.   |                   | Randkanal         | Grundwasser  |                 | Beregn.Abwasser   |
| Parameter                                       | oberstrom    | Rohwasser-fassung |                   | Br. 4 und 7  | Br. 1,2,3,5,6,8 | Querschn. 1       |
| pH, LF, T, O <sub>2</sub>                       | 14 - täglich | 14 - täglich      | 14 - täglich (6x) | 14 - täglich | monatlich       | 14 - täglich (2x) |
| TOC   | 14 - täglich | 14 - täglich      | 14 - täglich (6x) | 14 - täglich | monatlich       | 14 - täglich (2x) |
| Nges. (TN)                                      |              |                   |                   |              |                 | 14 - täglich (2x) |
| Pges.   |              |                   |                   |              |                 | 14 - täglich (2x) |
|   |              |                   |                   |              |                 |                   |
| Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, As                      | 14 - täglich | 14 - täglich      | 14 - täglich (6x) | 14 - täglich | monatlich       |                   |
| jeweils gelöst und gesamt                       |              |                   |                   |              |                 |                   |
|   |              |                   |                   |              |                 |                   |
| PAK (EPA), gelöst                               |              |                   | 14 - täglich (3x) |              |                 |                   |
|   |              |                   |                   |              |                 |                   |
| Atrazin, Desethylatrazin                        | 14 - täglich | 14 - täglich      | 14 - täglich (6x) | 14 - täglich | monatlich       |                   |
|   |              |                   |                   |              |                 |                   |
| Trübung (NTU)                                   | 14 - täglich | 14 - täglich      | 14 - täglich (6x) | 14 - täglich | monatlich       |                   |
|   |              |                   |                   |              |                 |                   |
| Grundwasser-stand müNN                          |              |                   |                   | 14 - täglich | monatlich       |                   |

**Tabelle B. 4: Auszug aus dem Betriebstagebuch zum Holznasslager Hengstey (STORA ENSO, 2009).**

| Datum   | Stichwort            | Kurze Beschreibung   |
|---------|----------------------|--|
| 11. Jun | Einlagerung          | Beginn Einlagerung ohne Bewässerung auf Höhe Messstelle Beregnungswasser in Richtung Brunnen 4 und Brunnen 5 |
| 15. Jun | Probennahme          | 9 Null-Probennahme durch Institut  |
| 18. Jun | Brunnen              | Abschlussarbeiten Brunnen durchgeführt   |
| 20. Jun | Equipment            | Aufbau und Anschluss des NL Equipment  |
| 21. Jun | Beginn               | Beregnungsbeginn 11:00 Uhr. Einige, längere Unterbrechungen wegen Starkregen                                 |
| 22. Jun | Probenahme           | alle Brunnen bis auf B3 durch BWL-Labor beprobt  |
| 29. Jun | Neue Platzaufteilung | Beginn der Einlagerung von 4m Abschnitten Nähe Brunnen 3 in Richtung Brunnen 2                               |
| 04. Jul | Störung              | Störung der Pumpe durch PET Flasche  |
| 05. Jul | Vollbeprobung        | alle Brunnen durch BWL-Labor beprobt   |
| 06. Jul | Einlagerungsmenge    | ca. 15000 fm eingelagert   |
| 13. Jul | Entrindungsmaschine  | Entrindungsmaschine wird eingerichtet  |
| 23. Jul | Entrindungsmaschine  | hohe Stillstände durch schlechte Zuführung der Hölzer  |
| 30. Jul | Entrindungsmaschine  | Produktionsleistung wird nun besser ~ 3/4 Polter bisher. Einlagerung erfolgt in Richtung Brunnen 6           |
| 30. Jul | Einlagerungsmenge    | ca. 37.0000 fm   |
| 01. Aug | Intervallschaltung   | Beginn der Intervallschaltung 6 min / 6 min  |
| 02. Aug | Rohrleitung          | Rohrleitungssystem wird neu verlegt, damit LKW besser den Platz befahren können                              |
| 02. Aug | Erweiterung          | Telef. Anfrage nach Erweiterung des Platzes Linie Brunnen 8 und 5  |



---

## Anhang

---

|         |                       |  |
|---------|-----------------------|--|
| 08. Aug | Verstopfung           | Ausfall mehrerer Sprinkler durch Verunreinigung des Beregnungswassers in Folge Hochwasser der Ruhr |
| 09. Aug | Verstopfung           | Ausfall mehrerer Sprinkler durch Verunreinigung des Beregnungswassers in Folge Hochwasser der Ruhr |
| 10. Aug | Verstopfung           | Ausfall mehrerer Sprinkler durch Verunreinigung des Beregnungswassers in Folge Hochwasser der Ruhr |
| 11. Aug | Verstopfung           | Ausfall mehrerer Sprinkler durch Verunreinigung des Beregnungswassers in Folge Hochwasser der Ruhr |
| 12. Aug | Verstopfung           | Ausfall mehrerer Sprinkler durch Verunreinigung des Beregnungswassers in Folge Hochwasser der Ruhr |
| 13. Aug | Verstopfung           | Ausfall mehrerer Sprinkler durch Verunreinigung des Beregnungswassers in Folge Hochwasser der Ruhr |
| 08. Sep | Wasserspiegel gesenkt | Pumpe lief trocken, kein Wasser für 10 Std.  |
| 09. Sep | Wasserspiegel gesenkt | Nur eingeschränkte Wasserversorgung möglich  |
| 11. Sep | Beregnung begonnen    | Beregnung wieder begonnen 13.00 Uhr, Brunnenschächte auseinander gerückt                           |
| 01. Okt | Köpfchenwerk          | 10% Wasserberegnung durch Störung Niedrigwasser Hengstey   |
| 02. Okt | Köpfchenwerk          | 10% Wasserberegnung durch Störung Niedrigwasser Hengstey   |
| 03. Okt | Köpfchenwerk          | 10% Wasserberegnung durch Störung Niedrigwasser Hengstey   |
| 04. Okt | Köpfchenwerk          | 10% Wasserberegnung durch Störung Niedrigwasser Hengstey   |
| 05. Okt | Köpfchenwerk          | 10% Wasserberegnung durch Störung Niedrigwasser Hengstey   |
| 05. Okt | Einlagerung           | Schleifholz abgeschlossen, nur Lücke wird noch aufgefüllt  |

**Ende Tabelle B. 4.**

## C Anhang zur Methodik

### 1. Laborversuch:

#### Laborversuch zum Oberflächenrückhalt auf Fichtenrinde

Datum: 04.05.2010

Material (Buchstaben siehe Abb. Lav. A1):

- 1 Haltestange (a)
- 1 Verbindungsstück (b)
- 1 Klemmstück (c)
- 1 Abtropfschale (d)
- 1 Wäagegefäß (e)
- 1 Waage (f)
- 1 Messbecher
- 6 Rindenstücke
- Leitungswasser
- Armbanduhr mit Sekundenzeiger

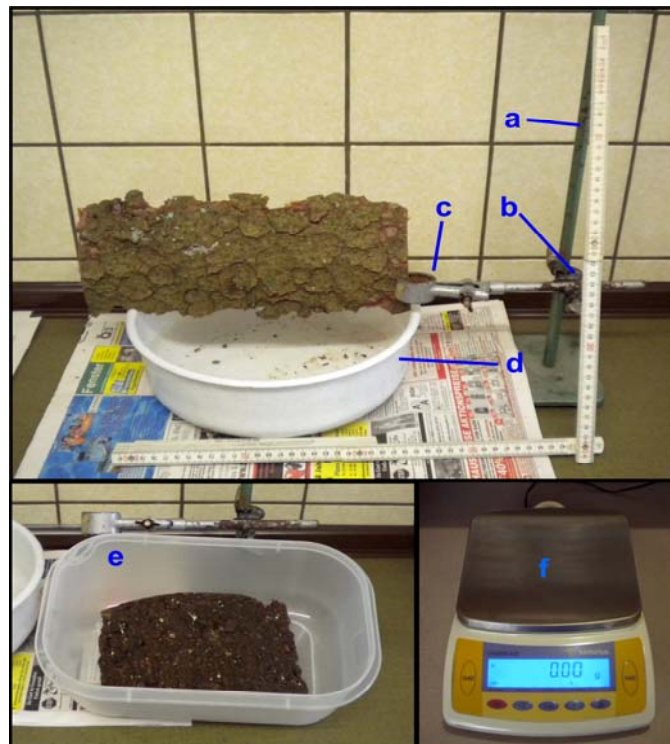


Abbildung Labv. A1: Material des Laborversuchs.

Gesamtdauer: 2 Stunden.

Umgebungsbedingungen:

- geschlossener Raum
- 19,5 °C Raumtemperatur
- 55% rel. Luftfeuchte

**Vorbereitung:**

- Aufbau der Haltevorrichtung
- Tara von Wägegefäß ermitteln
- Abtropfschale aufstellen

**Versuchsdurchführung:**

1. Rindenstück mit Wägegefäß wiegen, Nummer und Gewicht notieren.
2. Rindenstück in Haltevorrichtung einspannen.
3. Außenseite mit Leitungswasser übergießen, bis die Oberfläche vollkommen benetzt ist, und ein deutlicher Abfluss entsteht. Innenseite bleibt dabei trocken.
4. Eingespannt abtropfen lassen.
5. Wägegefäß bereitstellen.
6. Abtropfzeit endet wenn eine Minute kein Tropfvorgang beobachtet werden kann. Abtropfzeit notieren.
7. Klemmstück mit Rinde vorsichtig aus Verbindungsstück lösen, dabei nicht mit der Rinde in Kontakt kommen.
8. Klemmstück mit Rinde in das Wägegefäß legen.
9. Klemmstück von Rinde lösen, ebenfalls ohne Kontakt zur Rinde.
10. Wägegefäß mit Rinde wiegen und Nassgewicht notieren.
11. Rindenstück aus Wägegefäß entnehmen.
12. Wägegefäß säubern und trocknen.
13. Kontrolle Tara Wägegefäß.

Für jede Messung erfolgte die Versuchsdurchführung in der oben beschriebenen Reihenfolge. Die Messergebnisse sind in der Tabelle Labv. 1 festgehalten.

**Tabelle Labv. 1: Protokolltabell der Messergebnisse des Laborversuchs.**

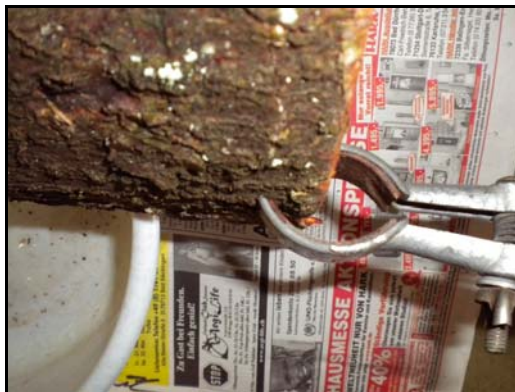
|                  |   |             |                                |                    |
|------------------|---|-------------|--------------------------------|--------------------|
| <b>Tara:</b>     | 172,05 g  |             |                                |                    |
|                  |   |             |                                |                    |
|                  | <b>Gewicht mit Wägegefäß [g]</b>  |             |                                |                    |
| <b>Rinde Nr.</b> | <b>trocken</b>  | <b>nass</b> | <b>Abtropfzeit [min : sek]</b> | <b>Anmerkungen</b> |
| 1                | 334.4   | 342.8       | 04:50                          | steil, a           |
| 2                | 265.4   | 269.9       | 03:20                          | steil, j           |
| 3                | 290.2   | 295.6       | 04:15                          | flach, a, Y        |
| 4                | 245.5   | 247.9       | 03:05                          | flach, j           |
| 5                | 306.3   | 311.9       | 04:35                          | steil, a, Y        |
| 6                | 224.4   | 226.7       | 03:50                          | steil, j           |
|                  |   |             |                                |                    |
| <b>steil :</b>   | Einspannwinkel steil, entspricht Seitenbereich eines liegenden Stammes              |             |                                |                    |
| <b>flach :</b>   | Einspannwinkel flach, entspricht teilweise der Draufsicht auf einen liegenden Stamm |             |                                |                    |
| <b>a :</b>       | ältere Bäume, großer Umfang des Ursprungsstammes, schuppige Rinde                   |             |                                |                    |
| <b>j :</b>       | jüngere Bäume, kleinerer Umfang des Ursprungsstammes, glatte Rinde                  |             |                                |                    |
| <b>Y :</b>       | zwei Hälften eines Rindenstücks.  |             |                                |                    |

Entsprechend der Lage eines liegenden Stammes wurden die Rindenstücke in der Haltevorrichtung befestigt. Der Einspannwinkel (Abb. Labv. A2) ist zur Nachbildung der Lagerbedingungen verändert worden. Ein steiler Einspannwinkel entspricht dabei dem Seitenbereich, und ein flacher Einspannwinkel eher der oben liegenden Seite eines liegenden Stammes.



**Abbildung Labv. A2: Beispielbilder zum Einspannwinkel der Rindenstücke. Links: flacher Winkel. Rechts: steiler Winkel.**

Dabei handelt es sich nicht um ein Winkelmaß. Jedes Rindenstück wurde entsprechend seiner Größe und Krümmung angepasst eingespannt. Das Klemmstück hat eine Kontaktfläche (Abb. Lav. A3) von 0,3 x 2,5 cm, und liegt in Stromlinie zum Abfluss. Die sich hieraus, möglicherweise, ergebende Beeinflussung erscheint nicht als signifikant, und wird vernachlässigt.



**Abbildung Labv. A3: Kontaktfläche des Klemmstücks auf der Rinde.**

Auf Grund der Verwendung von frischer Rinde und der kurzen Versuchsdauer können Quelleffekte nahezu ausgeschlossen werden. Die Auswertung der Messergebnisse ist in Tabelle Labv. 2 aufgeführt.

**Tabelle Labv. 2: Auswertung der Messergebnisse.**

| Versuchsdaten:   |   |        |             |                 |        |              |             |
|--|---|--------|-------------|-----------------|--------|--------------|-------------|
| Rinde Nr.  | Gewicht mit Wägegefäß [g]   |        | Fläche [m²] | Wassermenge [g] | [g/m²] | OR [mm]      | Anmerkungen |
|  | trocken   | nass   |             |                 |        |              |             |
| 1  | 334.44  | 342.86 | 0.0425      | 8.4             | 198.26 | <b>0.198</b> | steil, a    |
| 2  | 265.41  | 269.93 | 0.0251      | 4.5             | 179.96 | <b>0.180</b> | steil, j    |
| 3  | 290.22  | 295.61 | 0.0277      | 5.4             | 194.84 | <b>0.195</b> | flach, a, Y |
| 4  | 245.5   | 247.9  | 0.0187      | 2.4             | 128.58 | <b>0.129</b> | flach, j    |
| 5  | 306.38  | 311.99 | 0.0288      | 5.6             | 194.62 | <b>0.195</b> | steil, a, Y |
| 6  | 224.42  | 226.78 | 0.0141      | 2.3             | 167.38 | <b>0.167</b> | steil, j    |
| <div> <div>Ø :</div> <div>0.18</div> </div> <div> <div>Ø für a:</div> <div>0.20</div> </div> <div> <div>Ø für j :</div> <div>0.16</div> </div> |   |        |             |                 |        |              |             |
| <b>steil :</b>   | Einspannwinkel steil, entspricht Seitenbereich eines liegenden Stammes              |        |             |                 |        |              |             |
| <b>flach :</b>   | Einspannwinkel flach, entspricht teilweise der Draufsicht auf einen liegenden Stamm |        |             |                 |        |              |             |
| <b>a :</b>   | ältere Bäume, großer Umfang des Ursprungsstammes, schuppige Rinde                   |        |             |                 |        |              |             |
| <b>j :</b>   | jüngere Bäume, kleinerer Umfang des Ursprungsstammes, glatte Rinde                  |        |             |                 |        |              |             |
| <b>Y :</b>   | zwei Hälften eines Rindenstücks.  |        |             |                 |        |              |             |

## Ende 1. Laborversuch.

**Tabelle C. 1: Beaufort-Skala-1 mit Wertebereich der Windgeschwindigkeit (DWD, 2009).**

| Beaufort   | Knoten  | km/h     | m/s       | Bezeichnung               |
|--|---------|----------|-----------|---------------------------|
| 0  | unter 1 | unter 1  | unter 0,3 | <b>Windstille</b>         |
| 1  | 1–3     | 1–5      | 0,3–1,5   | <b>Leiser Zug</b>         |
| 2  | 4–6     | 6–11     | 1,6–3,3   | <b>Leichter Wind</b>      |
| 3  | 7–10    | 12–19    | 3,4–5,4   | <b>Schwacher Wind</b>     |
| 4  | 11–15   | 20–28    | 5,5–7,9   | <b>Mäßiger Wind</b>       |
| 5  | 16–21   | 29–38    | 8,0–10,7  | <b>Frischer Wind</b>      |
| 6  | 22–27   | 39–49    | 10,8–13,8 | <b>Starker Wind</b>       |
| 7  | 28–33   | 50–61    | 13,9–17,1 | <b>Steifer Wind</b>       |
| 8  | 34–40   | 62–74    | 17,2–20,7 | <b>Stürmischer Wind</b>   |
| 9  | 41–47   | 75–88    | 20,8–24,4 | <b>Sturm</b>              |
| 10   | 48–55   | 89–102   | 24,5–28,4 | <b>Schwerer Sturm</b>     |
| 11   | 56–63   | 103–117  | 28,5–32,6 | <b>Orkanartiger Sturm</b> |
| 12   | über 64 | über 118 | über 33   | <b>Orkan</b>              |
| Umrechnung<br>1 kn = 1,852 km/h = 0,5144 m/s<br>1 km/h = 0,2778 m/s = 0,54 kn<br>1 m/s = 1,944 kn = 3,6 km/h |         |          |           |                           |

**Tabelle C. 2: Beaufort-Skala-2 mit Wertebereich der Windgeschwindigkeit (DWD, 2009).**

| Beaufortgrad  | Bezeichnung                      | Mittlere Windgeschwindigkeit in ca.10m Höhe über offenem, flachem Gelände |           |             | Auswirkungen des Windes im Binnenland  |
|---|----------------------------------|---|-----------|-------------|--|
|   |                                  | kt  | m/s       | km/h        |  |
|   |                                  | im DWD verwendete Schwellenwerte  |           |             |  |
| 0   | Windstille                       | <1  | 0         | 0           | Rauch steigt senkrecht auf   |
| 1   | leiser Zug                       | 1 bis 3   | 1         | <5          | Windrichtung angezeigt durch den Zug des Rauches   |
| 2   | leichte Brise                    | 4 bis 6   | 2 bis 3   | 5 bis 10    | Wind im Gesicht spürbar, Blätter und Windfahnen bewegen sich                                     |
| 3   | schwache Brise<br>schwacher Wind | 7 bis 10  | 4 bis 5   | um 15       | Wind bewegt dünne Zweige und streckt Wimpel  |
| 4   | mäßige Brise<br>mäßiger Wind     | 11 bis 15   | 6 bis 7   | 20 bis 25   | Wind bewegt Zweige und dünnere Äste, hebt Staub und loses Papier                                 |
| 5   | frische Brise<br>frischer Wind   | 16 bis 21   | 8 bis 10  | 30 bis 35   | kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumkronen bilden sich auf See                         |
| 6   | starker Wind                     | 22 bis 27   | 11 bis 13 | 40 bis 45   | starke Äste schwanken, Regenschirme sind nur schwer zu halten, Telegrafleitungen pfeifen im Wind |
| 7   | steifer Wind                     | 28 bis 33   | 14 bis 17 | 50 bis 60   | fühlbare Hemmungen beim Gehen gegen den Wind, ganze Bäume bewegen sich                           |
| 8   | stürmische Wind                  | 34 bis 40   | 18 bis 20 | 65 bis 70   | Zweige brechen von Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien                               |
| 9   | Sturm                            | 41 bis 47   | 21 bis 24 | 75 bis 85   | Äste brechen von Bäumen, kleinere Schäden an Häusern (Dachziegel oder Rauchhauben abgehoben)     |
| 10  | schwerer Sturm                   | 48 bis 55   | 25 bis 28 | 90 bis 100  | Wind bricht Bäume, größere Schäden an Häusern  |
| 11  | orkanartiger Sturm               | 56 bis 63   | 29 bis 32 | 105 bis 115 | Wind entwurzelt Bäume, verbreitet Sturmschäden   |
| 12  | Orkan                            | über 64   | ab 33     | ab 120      | schwere Verwüstungen   |
| <b>Zur Beachtung!</b> In der Tabelle kann es in den Angaben der Windgeschwindigkeiten Abweichungen zu anderen Veröffentlichungen geben. Dies beruht darauf, dass die hier aufgeführten Werte Zuordnungen sind, die im DWD für Warnkunden verwendet werden. Die Werte in der Tabelle stellen keine eindeutigen Umrechnungen dar! |                                  |   |           |             |  |

**Tabelle C. 3: Verdunstungswerte für alle Tage mit nicht eindeutiger Zuordnung.**

| In der Verdunstung berücksichtigt ist der Flächenfaktor von 1,8.  |       |       |                         |                         |        |                          |                     |        |                                 |                     |
|---|-------|-------|-------------------------|-------------------------|--------|--------------------------|---------------------|--------|---------------------------------|---------------------|
| Für $F < 1 \text{ m/s}$ wurde $u = 0,65 \text{ m/s}$ gesetzt. Daraus folgt $F = 0.206$  |       |       |                         |                         |        |                          |                     |        |                                 |                     |
|   |       |       | Verdunstung [mm]        |                         | N [mm] | V-Überschuss nach N [mm] |                     | B [mm] | B- Überschuss nach V und N [mm] |                     |
| Datum   | E     | e     | für $F < 1 \text{ m/s}$ | für $F > 1 \text{ m/s}$ |        | $F < 1 \text{ m/s}$      | $F > 1 \text{ m/s}$ |        | $F < 1 \text{ m/s}$             | $F > 1 \text{ m/s}$ |
| 19.07.2007  | 26.58 | 12.23 | 5.32                    | 13.69                   | 0      | 5.32                     | 13.69               | 204.98 | 199.66                          | 191.29              |
| 04.08.2007  | 31.28 | 9.70  | 8.00                    | 20.59                   | 0      | 8.00                     | 20.59               | 175.32 | 167.32                          | 154.73              |
| 07.08.2007  | 21.28 | 19.36 | 0.71                    | 1.83                    | 2.6    | -1.89                    | -0.77               | 170.05 | 171.94                          | 170.82              |
| 12.08.2007  | 27.90 | 9.49  | 6.83                    | 17.57                   | 1.5    | 5.33                     | 16.07               | 162.21 | 156.88                          | 146.14              |
| 24.08.2007  | 29.64 | 16.00 | 5.06                    | 13.01                   | 0      | 5.06                     | 13.01               | 163.07 | 158.01                          | 150.06              |
| 28.08.2007  | 19.36 | 8.32  | 4.09                    | 10.53                   | 0      | 4.09                     | 10.53               | 164.87 | 160.78                          | 154.34              |
| 29.08.2007  | 19.36 | 6.97  | 4.59                    | 11.82                   | 0      | 4.59                     | 11.82               | 162.75 | 158.15                          | 150.93              |
| 12.09.2007  | 18.75 | 9.56  | 3.41                    | 8.77                    | 0      | 3.41                     | 8.77                | 133.25 | 129.84                          | 124.49              |
| 13.09.2007  | 18.17 | 11.81 | 2.36                    | 6.07                    | 0      | 2.36                     | 6.07                | 46.69  | 44.33                           | 40.62               |
| 01.10.2007  | 17.15 | 14.40 | 1.02                    | 2.62                    | 5.9    | -4.88                    | -3.28               | 33.32  | 38.20                           | 36.60               |
| 02.10.2007  | 16.71 | 14.87 | 0.68                    | 1.75                    | 2.5    | -1.82                    | -0.75               | 59.54  | 61.36                           | 60.29               |
| 05.10.2007  | 17.82 | 9.80  | 2.97                    | 7.65                    | 0      | 2.97                     | 7.65                | 92.10  | 89.12                           | 84.45               |
| 07.10.2007  | 19.73 | 8.48  | 4.17                    | 10.73                   | 0      | 4.17                     | 10.73               | 38.64  | 34.47                           | 27.91               |
| 08.10.2007  | 17.04 | 11.07 | 2.21                    | 5.69                    | 0      | 2.21                     | 5.69                | 38.64  | 36.43                           | 32.95               |
| 09.10.2007  | 18.17 | 10.35 | 2.90                    | 7.45                    | 0      | 2.90                     | 7.45                | 38.64  | 35.75                           | 31.19               |
| 10.10.2007  | 17.26 | 11.39 | 2.18                    | 5.60                    | 0      | 2.18                     | 5.60                | 80.66  | 78.49                           | 75.07               |
| 11.10.2007  | 19.98 | 8.39  | 4.30                    | 11.06                   | 0      | 4.30                     | 11.06               | 80.66  | 76.37                           | 69.61               |
| 13.10.2007  | 17.15 | 8.75  | 3.12                    | 8.02                    | 0      | 3.12                     | 8.02                | 80.66  | 77.55                           | 72.65               |
| 20.10.2007  | 11.39 | 5.58  | 2.15                    | 5.54                    | 0      | 2.15                     | 5.54                | 80.66  | 78.51                           | 75.12               |
| 04.11.2007  | 12.94 | 7.25  | 2.11                    | 5.43                    | 0      | 2.11                     | 5.43                | 80.66  | 78.55                           | 75.23               |
| blau: N größer V, und V stellt nur geringen Anteil von B dar.   |       |       |                         |                         |        |                          |                     |        |                                 |                     |
| grün: B ist so hoch, das V keine signifikanten Fehler in der Sicherwasserberechnung verursachen kann / Anteil von V an B sehr gering. |       |       |                         |                         |        |                          |                     |        |                                 |                     |
| rot: Kritische Tage, bei einer späteren Verwendung sollte auf diese Tage als mögliche Fehlerquelle geachtet werden.                   |       |       |                         |                         |        |                          |                     |        |                                 |                     |

**Tabelle C. 4: Mittelwerte der Verdunstung für die fünf kritischen Tage.**

|   |               |       |                  |          |                    |        |                           |          |                |
|---|---------------|-------|------------------|----------|--------------------|--------|---------------------------|----------|----------------|
|   | u             |       |                  |          |                    |        |                           |          |                |
| 1 BFT =   | 0,3 - 1,5 m/s |       |                  |          |                    |        |                           |          |                |
|   |               |       |                  |          |                    |        |                           |          |                |
| geringstes $F = 0.134 + 0.11 \cdot 0.3 = 0.167$ |               |       |                  |          |                    |        |                           |          |                |
| höchstes $F = 0.53$                             |               |       |                  |          |                    |        |                           |          |                |
|   |               |       | Verdunstung [mm] |          | Mittelw. [mm]      | B [mm] | B- Überschuss nach V [mm] |          | Mittelw . [mm] |
| Datum   | E             | e     | F = 0.164        | F = 0.53 | $\approx F = 0,35$ |        | F = 0.164                 | F = 0.53 |                |
| 13.09.2007                                      | 18.17         | 11.81 | 1.06             | 6.07     | 3.56               | 46.69  | 45.62                     | 40.62    | 43.12          |
| 07.10.2007                                      | 19.73         | 8.48  | 1.88             | 10.73    | 6.30               | 38.64  | 36.76                     | 27.91    | 32.34          |
| 08.10.2007                                      | 17.04         | 11.07 | 1.00             | 5.69     | 3.34               | 38.64  | 37.65                     | 32.95    | 35.30          |
| 09.10.2007                                      | 18.17         | 10.35 | 1.30             | 7.45     | 4.38               | 38.64  | 37.34                     | 31.19    | 34.26          |
| 11.10.2007                                      | 19.98         | 8.39  | 1.94             | 11.06    | 6.50               | 80.66  | 78.73                     | 69.61    | 74.17          |



## 2. Konzeptmodell:

### Konzeptmodell zu „Risikoabschätzung der Pestizidverlagerung unter Holznasslagerung“, Grundwasser- und Stofftransportmodellierung

#### Der Lagerplatz

Der Lagerplatz (Abb. Konz. 1, gelber Bereich) befand sich auf dem Gelände eines ehemaligen Rangierbahnhofs im Stadtteil Hagen-Hengstey in Nordrhein-Westfalen. Es erstreckt sich entlang des Hengsteysee an dessen Südufer. Im Südosten grenzt der Lagerplatz an eine Bahnlinie. Jenseits der Bahnlinie folgt einer Anhöhe mit landwirtschaftlicher Nutzung. Der Rangierbahnhof wurde in den 1980-er Jahren stillgelegt und die Gleisanlagen in den Folgejahren rückgebaut. Der Gleisschotter verblieb ohne Renaturierungsmassnahmen auf der Fläche. Da bis 2007 keine Nutzung des Geländes erfolgte wurde die Fläche durch Ruderalpflanzen besiedelt und ein junger Birkenwald entstand. Dabei bildete sich eine wenige Zentimeter dicke Humusschicht, welche bei den Arbeiten zum Nasslager jedoch weitestgehend durch Rohdung und Befahrung wieder verloren ging.

Der Untergrund des ehem. Rangierbahnhofs besteht aus einer bis zu 440 cm mächtigen Auffüllschicht, welche bei der Errichtung des Geländes in den 1920-er Jahren aufgebraucht wurde.

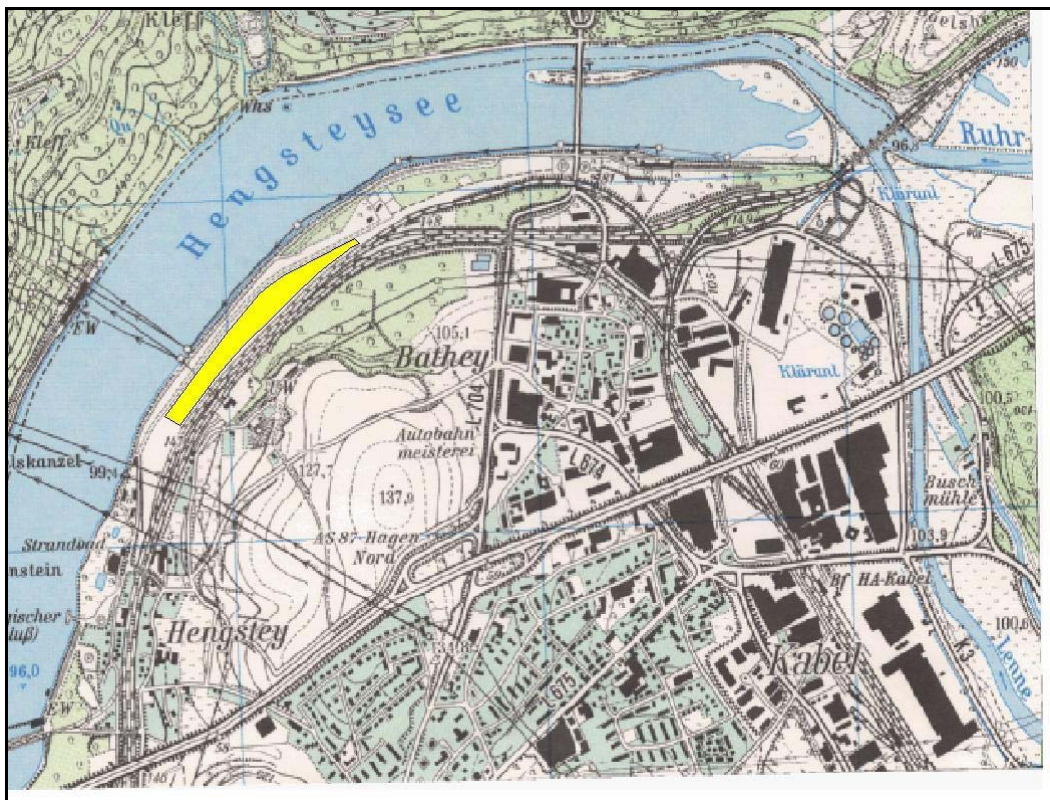


Abbildung Konz. 1: Übersichtskarte zum Lagerplatz (verändert nach AGL, 2009)

#### Geographie und Geologie

Der Abstand zum See betrug im Schnitt 40 - 50 m, am nordöstlichen Ende sogar über 80 m. Die Abmaße des genehmigten Lagerplatzes waren etwa 750 x 90 m. Holz



eingelagert wurde dort auf einer Fläche von ca. 372 x 86 m (Auswertung Luftbilder). Die Ausrichtung des Lagerplatzes war längs von Nordosten nach Südwesten, parallel zum Verlauf der Bahnlinie Dortmund-Hagen, welche gleichzeitig die südwestliche Begrenzung darstellte. Westlich grenzt es an ein Freibad und östlich an weitere Vereinsgelände. Die Höhenverhältnisse stellen sich folgendermaßen dar:

- Der Hengsteysee hat bei Vollstau eine Höhe von 96,3 m ü. NN
- Der Nasslagerplatz, ebenso wie die Bahnlinie, liegen auf 99,2 m ü. NN (Schwankungsbereich der Brunnen 99,03 – 99,44 m ü. NN)
- Jenseits der Bahnlinie steigt das Gelände mit einer mittleren Steigung von 5 % bis auf 137 m ü. NN an

### **Geologisch: Allgemein**

Der geologische Untergrund stellt sich wie folgt dar. Auf den Ton- und Schluffsteinen des Oberkarbons liegen Schichten des Pleistozän, und alluviale Schichten des Holozän auf. Diese alluvialen Schichten bestehen vor allem aus grobem Kies (Mächtigkeit 5 m bis 8 m), welcher von einer Hochflutlehmdecke (Mächtigkeit 2 m bis 3 m) überlagert wird. Die südlich des Lagerplatzes angrenzende Landschaft mit ihren flachen Hängen ist terrassenförmig eingeschnitten. Oberflächlich sind die Unterschiede zwar durch eine geschlossene Lehmdecke verwischt, darunter konnte jedoch in vielen Aufschlüssen grober Kies der Ruhr und der Lenne erkannt werden. Diese Kiese stammen wohl aus dem Pleistozän. Es können zwei Terrassen unterschieden werden, eine untere und eine obere Mittelterrasse.

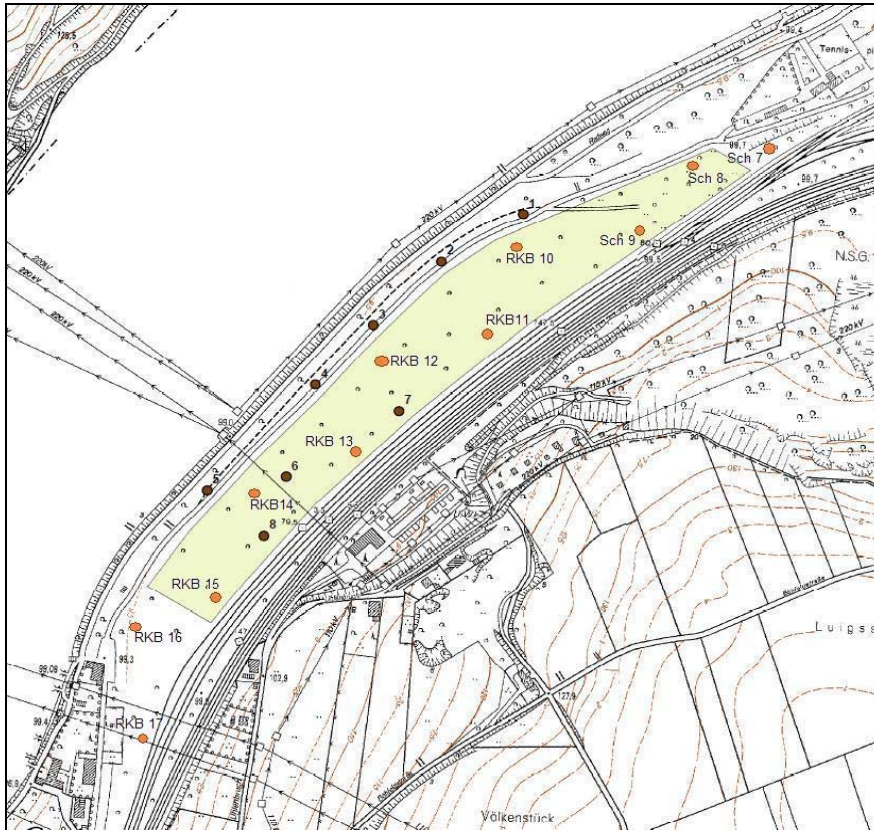
Sowohl der Stadtteil Hagen-Hengstey mit dem Hengsteysee, als auch die nicht aufgeschütteten Bereiche des ehemaligen Rangierbahnhofs und der Bahnlinie liegen auf der unteren Mittelterrasse. Der nach Südosten flach ansteigende Berg stellt die obere Mittelterrasse dar.

In dieser Terrassenlandschaft liegen der Hengsteysee und die Aufschüttungen des Bahngeländes auf der Niederterrasse der Ruhr.

### **Geologisch: Der Lagerplatz**

Das Regelprofil an einem ungestörten Ort würde etwa 8 m unter der Gelände Oberkante auf Ton- und Schluffstein des Oberkarbons treffen. Diese sind überlagert von etwa 5 m bis 8 m mächtigen Sedimentschicht der quartären Niederterrasse. Überdeckt werden diese sandig-kiesigen Sedimente von einer 2 m bis 3 m mächtigen Lehmdecke.

Unter dem Lagerplatz kann dieses Regelprofil nicht angetroffen werden. Bohrprofile aus den Jahren 1991 und 2007 geben einen guten Überblick zu den tatsächlichen Begebenheiten. In Abbildung Konz. 2 sind die Lage und Bezeichnung der Bohrungen aus beiden Jahren abgebildet



**Abbildung Konz. 2: Lage und Bezeichnung der Bohrungen (verändert nach STORA ENSO, 2009, FLUHME, 2007 und DILLO, 1991).**

Im Mittel weist die Auffüllschicht eine Mächtigkeit von 3,80 m auf (Tab. Konz. 1). Die obersten 50 cm bestehen aus Schotter. Unter dieser Auffüllschicht trifft man dann wieder das Regelprofil des gewachsenen Bodens an. Mit einer Mächtigkeit von rund 240 cm (Bereich von 70 – 460 cm) liegt hier der Hochflutlehm mit seinen Schluffen und Feinsanden vor.

**Tabelle Konz. 1: Mächtigkeiten der angetroffenen Schichten.**

| Bohrung | Auffüllung<br>(cm) | Hochflutlehm<br>Mächtigkeit (cm) |
|---------|--------------------|----------------------------------|
| Br. 1   | 450                | 140                              |
| Br. 2   | 460                | 100                              |
| Br. 3   | 460                | 120                              |
| Br. 4   | 210                | 430                              |
| Br. 5   | 570                | 70                               |
| Br. 6   | 200                | 460                              |
| Br. 7   | 290                | 330                              |
| Br. 8   | 400                | 250                              |
| Sch 8   | 170                | >30                              |
| Sch 9   | 110                | > 90                             |
| RKB 10  | 440                | > 60                             |
| RKB 11  | n. A. (>390)       | n. A.                            |
| RKB 12  | 480                | > 70                             |
| RKB 13  | 440                | 200                              |
| RKB 14  | 480                | > 70                             |
| RKB 15  | 350                | > 50                             |
| RKB 16  | 550                | > 50                             |
| RKB 17  | 140                | > 60                             |

In einem früheren Gutachten werden die Durchlässigkeiten des aufgefüllten Materials mit kf- Werten von  $10^{-5}$  m/s, und die der quartären Niederterrasse mit kf- Werten von  $10^{-3}$  m/s angenommen. Diesen Annahmen lagen keine empirischen Daten zu Grunde.

Aus den Pumpversuchen im Zusammenhang mit der Errichtung der Grundwasserbrunnen können kf-Werte zwischen  $7,1 \cdot 10^{-4}$  und  $4,6 \cdot 10^{-5}$  abgeschätzt werden (Tab. Konz. 2). Anzumerken ist dabei, dass diese Werte in keinem Fall als absolut anzusehen sind. Es sind lediglich sehr grobe Richtwerte.

**Tabelle Konz. 2: Errechnete Richtwerte aus den Daten der Pumpversuche auf dem Holznasslagerplatz.**

| Brunnen          | Br 1                | Br 2                | Br 3                | Br 4                | Br 5                | Br 6                | Br 7                | Br 8  |
|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------|
| kf-Wert<br>(m/s) | $3,2 \cdot 10^{-4}$ | $4,7 \cdot 10^{-4}$ | $6,7 \cdot 10^{-4}$ | $7,1 \cdot 10^{-4}$ | $8,3 \cdot 10^{-5}$ | $6,3 \cdot 10^{-5}$ | $4,6 \cdot 10^{-5}$ | n. A. |

### Der See

Der Pegel des Hengsteysee wird maßgeblich durch den Betrieb eines Pumpspeicherkraftwerks (PSWK) beeinflusst. Im Beobachtungszeitraum von sechs Monaten war das PSKW die ersten drei Monate stillgelegt. Ein deutlicher Unterschied in den Seespiegelschwankungen ist die folge:

- Ohne Betrieb des PSKW liegt der mittlere Pegel bei 96,23 m ü. NN +/- 0,11 m, wobei die innertäglichen Schwankungen nur 8 bis 10 cm betragen.
- Mit Betrieb des PSKW liegt der mittlere Pegel bei 95,85 m ü. NN +0,5/-0,2 m mit innertäglichen Schwankungen von 55 bis 65 cm.

### Hydrologische Bedingungen

Der mittlere jährliche Niederschlag beträgt 900 mm. Die Grundwasserneubildungsrate wird mit 265 mm/a angegeben. Der Hengsteysee liegt auf etwa 96 m ü. NN und der Lagerplatz auf 99 m ü. NN, daher ist anzunehmen dass der Grundwasserspiegel in einer Tiefe von etwa 3 m unter der Geländeoberkante anzutreffen ist. Diese Annahme wird weitestgehend von den Aufzeichnungen der Grundwasserstände der Brunnen bestätigt.

Aus den beobachteten Werten ist eine Orientierung der Grundwasserstände am Seepegel zu erkennen. Die Grundwasserstände liegen bis auf wenige Ausnahmen stets unter dem Seepegel. Auch beim Absinken des Seepegels, durch betrieb des PSKW, folgen die Grundwasserpegel der Überwachungsbrunnen unmittelbar.

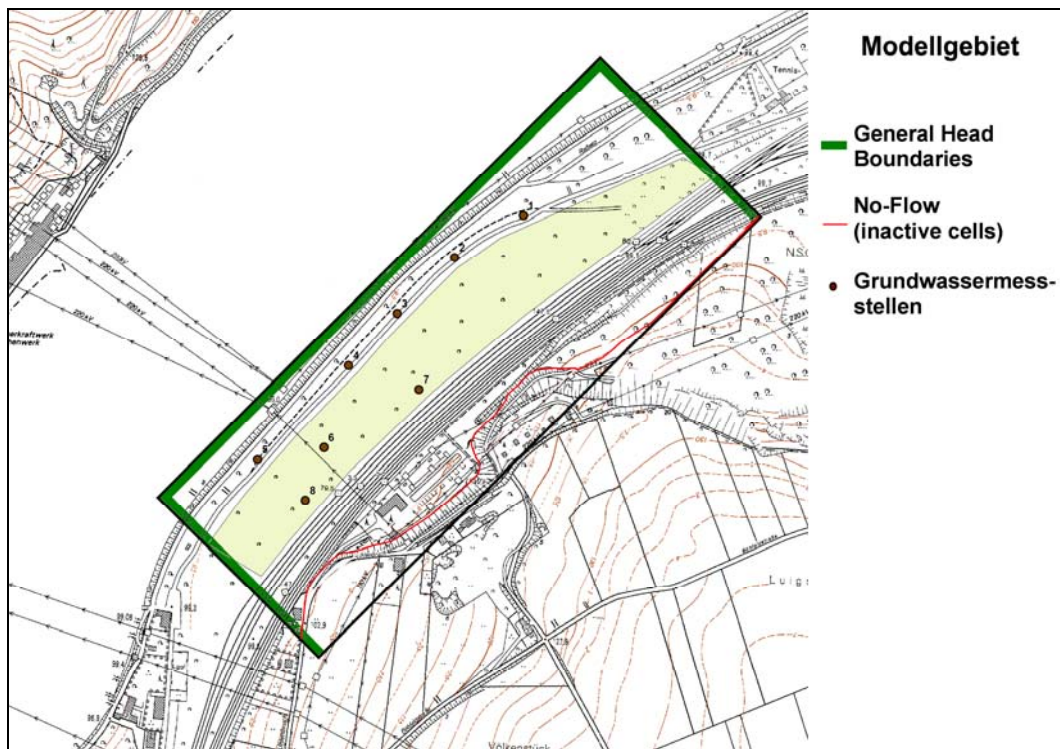
Die Sickerwassermengen wurden über die täglichen Summen von Niederschlag, Wasserbedarf der Bewässerung und Verdunstung abgeschätzt. Da eine ständige Wasserzufuhr gewährleistet war, wurde eine potenzielle Verdunstung zu Grunde gelegt. Die Sickerwassermengen in den ersten zwei Monaten liegen um die 200 mm/m<sup>2</sup>d (150-330 mm/m<sup>2</sup>d), danach fallen sie stetig ab. Die Sickerwassermengen der Freiflächen ergeben sich nur aus Niederschlag und Verdunstung.

### Rahmenbedingungen für das Modell

Auf Grund des geologischen Profils wird der Untergrund in 3 Schichten aufgebaut:

- 1. Aquifer: Auffüllschicht ~380 cm (2-5 m) mit kf-Wert  $1 \cdot 10^{-5}$
- 2. Aquitard: Hochflutlehmdecke ~240 cm (1-4 m) mit kf-Wert  $1 \cdot 10^{-7}$
- 3. Aquifer: Alluviale Sande und Kiese ~680 cm (1-8 m) mit kf-Wert  $1 \cdot 10^{-3}$

Bei der Ermittlung der Gradienten zeigten sich fast durchweg influente Bedingungen, vom See ins Grundwasser. Brunnen 3 war diesbezüglich eine Ausnahme und lag sehr häufig knapp über dem Seespiegel. Dennoch folgen alle Grundwasserstände dem Seespiegel rasch, auch bei dessen Absinken. Das Seeufer könnte teilweise kolmatiert sein. Daher werden an der Nordgrenze General Head Boundaries angenommen. Die Südgrenze bildet der Fuß einer Geländeerhebung. Deren geologischer Aufbau vermutlich zwei Schichten aufweisen wird. Die Ton- und Schluffsteine mit der darauf liegenden pleistozänen Deckschicht. Grundwasserzuflüsse aus dieser Richtung können wohl auf Grund der enormen Berechnungsmengen, und der geringen Mächtigkeiten der Deckschicht vernachlässigt werden, so dass hier no-flow Bedingungen zu Grunde gelegt werden. Die Übergeordnete, natürlich vorherrschende Fließrichtung ist durch den Ruhrverlauf vorgegeben, und verläuft von Osten nach Westen. Diese beiden Grenzen werden ebenfalls mit General Head Boundaries festgelegt. Eine Übersicht der Rahmenbedingungen ist in Abbildung Konz. 3 dargestellt.



**Abbildung Konz. 3:** Übersicht zu den Rahmenbedingungen des Konzeptmodells (verändert nach STORA ENSO, 2009).

Das 3-Schichtmodell wird zur besseren Kalibrierung verwendet. Da die Brunnen sich über die Zeit, auch unter verändertem mittleren Seespiegel, stets sehr ähnlich zueinander und zum Seespiegel verhalten, wäre eine Modellierung mit einem Einschicht Modell auch denkbar.

Nach Berechnung der Grundwasserabflussmengen, auf Grundlage der zuvor beschriebenen Werte, die laut DARCY möglich wären, ergeben sich erhebliche Mengen an überschüssigem Sickerwasser. Dies müsste zu einer deutlichen Grundwassererhöhung im Untergrund führen. Eine solche Erhöhung konnte aber nicht beobachtet werden. So sind entweder die angenommenen Durchlässigkeitsbeiwerte zu niedrig, oder es sind unbekannte Drainagen im Untergrund zu finden.



Anpassung für den vierten Simulationslauf:

- Anpassung für NBA 1 und NBA 2 gleich
- Fenster mit kf-Wert  $1 \cdot 10^{-3}$  in Ly 2
- Fenster: Zeile 6/ Spalte 13 – 15; Zeile 9/Spalte 7; Zeile 11/ Spalte 8 - 10
- Alle anderen Parameter siehe zweiter Simulationslauf

Anpassung für den fünften Simulationslauf:

- Anpassung für NBA 1 und NBA 2 gleich
- Ly 2: kf-Wert  $1 \cdot 10^{-5}$
- Ly 2, GHB-Osten: kf  $1 \cdot 10^{-5}$
- Ly 2, GHB-Westen: kf  $1 \cdot 10^{-5}$
- Ly 2, GHB-Norden: kf  $1 \cdot 10^{-6}$
- Alle anderen Parameter siehe vierter Simulationslauf

Anpassung für den sechsten Simulationslauf:

- Anpassung für NBA 1 und NBA 2 gleich
- Ly 1: es wird ein Drainagepunkt bei GWM 7 gesetzt (Elevation 95.5; Conductance per unit Area 0,8)
- Die Lage der Fenster in Ly 2 wird angepasst, Fenster bei GWM 1 und GWM 4
- Alle anderen Parameter siehe fünfter Simulationslauf

Im Folgenden wurde die GWNB im Bereich des Holznasslagers erhöht. Eine Simulation mit einer Sickerwassermenge von  $15 \text{ l/m}^2\text{d}$  (RCH 5475 mm/yr), und eine weitere Simulation mit einem Wert von  $100 \text{ l/m}^2\text{d}$  (RCH 36500 mm/yr). Im ersten Fall werden die tatsächlich erzeugten GWNB in keinem Fall überschätzt. Der zweite Wert wird nur für NBA 1 simuliert, da auch nur in dieser Zeit eine solch enorme Sickerwassermenge aufgetreten ist. Die Simulationen mit den veränderten GWNB wird auf Basis des vierten Simulationslaufs (4.X) durchgeführt.

Anpassung für den Simulationslauf 4.2:

- Anpassung für NBA 1 und NBA 2 gleich
- RCH 5475 mm/yr auf Fläche des Holznasslagers
- Alle anderen Parameter siehe vierter Simulationslauf

Anpassung für den Simulationslauf 4.3:

- Anpassung nur für NBA 1
- RCH 36500 mm/yr auf entsprechenden Teilfläche des Holznasslagers
- Alle anderen Parameter siehe vierter Simulationslauf



## 4. MODFLOW instationär:

Tabelle MF instat 1: Stressperioden 1 und 2.

|  |         |             |                      |           |
|--|---------|-------------|----------------------|-----------|
| Vereinfachte Einstellungen für die erste Stressperiode (NBA 1):<br>Dauer : 21.06.2007 bis 06.09.2007 |         |             |                      |           |
| Layer  | kf-Wert | RCH [mm/yr] | EVT [mm/yr] ; ED [m] |           |
| Ly 1   | 1 E-3   | 265         | 580 ; 0.4            |           |
| Ly 2   | 1 E-7   |             |                      |           |
| Ly 3   | 1 E-3   |             |                      |           |
|  |         |             |                      |           |
| Storage  | Ss      | Sy          | Eff. Por.            | Tot. Por. |
| Ly 1   | 0.25    | 0.25        | 0.25                 | 0.35      |
| Ly 2   | 0.0002  | 0.2         | 0.2                  | 0.45      |
| Ly 3   | 0.0003  | 0.3         | 0.3                  | 0.35      |
|  |         |             |                      |           |
| Ly 1   | Head    | Entfernung  | kf                   |           |
| GHB-Osten  | 96.18   | 100         | 1 E-3                |           |
| GHB-Westen   | 95.9    | 100         | 1 E-3                |           |
| GHB-Norden   | 96.23   | 5           | 1 E-6                |           |
| Ly 2   |         |             |                      |           |
| GHB-Osten  | 96.18   | 100         | 1 E-7                |           |
| GHB-Westen   | 95.9    | 100         | 1 E-7                |           |
| GHB-Norden   | 96.23   | 5           | 1 E-7                |           |
| Ly 3   |         |             |                      |           |
| GHB-Osten  | 96.18   | 100         | 1 E-3                |           |
| GHB-Westen   | 95.9    | 100         | 1 E-3                |           |
| GHB-Norden   | 96.23   | 5           | 1 E-6                |           |
|  |         |             |                      |           |
| Vereinfachte Einstellungen für die zweite Stressperiode (NBA 2):<br>Dauer: 06.09.2007 bis 13.12.2007 |         |             |                      |           |
| Layer  | kf-Wert | RCH [mm/yr] | EVT [mm/yr] ; ED [m] |           |
| Ly 1   | 1 E-3   | 265         | 580 ; 0.4            |           |
| Ly 2   | 1 E-7   |             |                      |           |
| Ly 3   | 1 E-3   |             |                      |           |
|  |         |             |                      |           |
| Storage  | Ss      | Sy          | Eff. Por.            | Tot. Por. |
| Ly 1   | 0.25    | 0.25        | 0.25                 | 0.35      |
| Ly 2   | 0.0002  | 0.2         | 0.2                  | 0.45      |
| Ly 3   | 0.0003  | 0.3         | 0.3                  | 0.35      |
|  |         |             |                      |           |
| Ly 1   | Head    | Entfernung  | kf                   |           |
| GHB-Osten  | 95.83   | 100         | 1 E-3                |           |
| GHB-Westen   | 95.75   | 100         | 1 E-3                |           |
| GHB-Norden   | 95.85   | 5           | 1 E-6                |           |
| Ly 2   |         |             |                      |           |
| GHB-Osten  | 95.83   | 100         | 1 E-7                |           |
| GHB-Westen   | 95.75   | 100         | 1 E-7                |           |
| GHB-Norden   | 95.85   | 5           | 1 E-7                |           |
| Ly 3   |         |             |                      |           |
| GHB-Osten  | 95.83   | 100         | 1 E-3                |           |
| GHB-Westen   | 95.75   | 100         | 1 E-3                |           |
| GHB- Norden  | 95.85   | 5           | 1 E-6                |           |
|  |         |             |                      |           |
| Initial Heads: 96.1 m  |         |             |                      |           |

Anpassung für Simulationslauf instat 2:

- Ly 2:  $k_f 1 \cdot 10^{-5}$
- Ly 3:  $k_f 1 \cdot 10^{-2}$
- GHB Osten und GHB Westen von Ly 2 und Ly 3 werden entsprechend der neuen  $k_f$ -Werte angepasst
- Alle anderen Parameter siehe Simulationslauf instat 1

Anpassung für Simulationslauf instat 3:

- RCH in Stressperiode eins auf dem zu diesem Zeitpunkt überlagerten Bereich auf 38.000 mm/yr (104 mm/d) heraufgesetzt
- RCH in Stressperiode zwei für die gesamte Holznasslagerfläche mit 19.000 mm/yr (52 mm/d) festgesetzt
- Alle anderen Parameter siehe Simulationslauf instat 2

Anpassung für Simulationslauf instat 4:

- GHB Norden wird für alle Ly durch Constant Head (CHD) ersetzt: start Time: 0, Head 96,18; stop Time: 78, Head 96,18; start Time: 78, Head 95,85; stop Time: 167, Head 95,85
- Alle anderen Parameter siehe Simulationslauf instat 2 und instat 3

Anpassung für Simulationslauf instat 5 (höchste Durchlässigkeiten mit Fenstern und Drainagepunkten):

- Drainagepunkte bei GWM 7 und zwischen GWM 4 und GWM 6
- Drainagepunkte Ly 1: Zeile 6/ Spalte 12; Zeile 7 - 8/ Spalte 7; Zeile 11/ Spalte 8 - 10
- Drainagepunkte: Elevation 95,5; Conductance per unit Area 0,5
- Alle anderen Parameter siehe Simulationslauf instat 3



## D Anhang zu Ergebnissen und Diskussion

**Tabelle D. 1: Chronologischer Einlagerungsverlauf, mit Angabe des Flächenzuwachses.**

| Chronologischen Einlagerungsverlauf   |             |                        |                     |             |                       |
|---|-------------|------------------------|---------------------|-------------|-----------------------|
| Block 1a Polter 1 ist das erste Polter aus Richtung Starkstromüberleitung.<br>Bezeichnungen: [Bl 1a; 1]: Block 1a ; Polter 1<br>[Q 1a/1; 3]: Querpolter 1a/1 ; Polter 3<br>Bei gefülltem Polter wurde die Polterlänge mit 86 m festgelegt |             |                        |                     |             |                       |
| Datum   | Ort         | Einlagerungs-<br>quote | Polterbreite<br>[m] | Fläche [m²] | Fläche akkum.<br>[m²] |
| 11.06.2007  | Bl 1a; 1    | 0.333                  | 4.2                 | 120.28      | 120.28                |
| 12.06.2007  | Bl 1a; 1    | 0.333                  | 4.2                 | 120.28      | 240.56                |
| 13.06.2007  | Bl 1a; 1    | 0.334                  | 4.2                 | 120.64      | 361.20                |
| 14.06.2007  | Bl 1a; 2    | 0.333                  | 4.2                 | 120.28      | 481.48                |
| 15.06.2007  | Bl 1a; 2    | 0.333                  | 4.2                 | 120.28      | 601.76                |
| 16.06.2007  | Bl 1a; 2    | 0.334                  | 4.2                 | 120.64      | 722.40                |
| 17.06.2007  | Bl 1a; 3    | 0.5                    | 4.2                 | 180.60      | 903.00                |
| 18.06.2007  | Bl 1a; 3    | 0.5                    | 4.2                 | 180.60      | 1083.60               |
| 19.06.2007  | Bl 1a; 4    | 0.5                    | 4.2                 | 180.60      | 1264.20               |
| 20.06.2007  | Bl 1a; 4    | 0.5                    | 4.2                 | 180.60      | 1444.80               |
| 21.06.2007  | Bl 1a; 11   | 1                      | 4.2                 | 361.20      | 1806.00               |
| 22.06.2007  | Bl 1; 13    | 0.666                  | 4.2                 | 240.56      | 2046.56               |
| 23.06.2007  | Bl 1; 13/14 | 0.666                  | 4.2                 | 240.56      | 2287.12               |
| 24.06.2007  | Bl 1; 14    | 0.668                  | 4.2                 | 241.28      | 2528.40               |
| 25.06.2007  | Bl 1; 15    | 1                      | 4.2                 | 361.20      | 2889.60               |
| 26.06.2007  | Bl 1; 16    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 3164.80               |
| 27.06.2007  | Bl 1; 17    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 3440.00               |
| 28.06.2007  | Bl 1; 18    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 3715.20               |
| 29.06.2007  | Bl 1; 19    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 3990.40               |
| 29.06.2007  | Bl 2; 44    | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 4261.30               |
| 30.06.2007  | Bl 2; 44/45 | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 4532.20               |
| 01.07.2007  | Bl 2; 45/46 | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 4803.10               |
| 02.07.2007  | Bl 2; 46    | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 5074.00               |
| 03.07.2007  | Bl 1; 20    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 5349.20               |
| 04.07.2007  | Bl 1; 21    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 5624.40               |
| 05.07.2007  | Bl 1; 22    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 5899.60               |
| 06.07.2007  | Bl 1; 23    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 6174.80               |
| 07.07.2007  | Bl 2; 47    | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 6445.70               |
| 08.07.2007  | Bl 2; 47/48 | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 6716.60               |
| 09.07.2007  | Bl 2; 48/49 | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 6987.50               |
| 10.07.2007  | Bl 2; 49    | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 7258.40               |
| 11.07.2007  | Bl 1; 24    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 7533.60               |
| 12.07.2007  | Bl 1; 25    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 7808.80               |
| 13.07.2007  | Bl 1; 26    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 8084.00               |
| 14.07.2007  | Bl 1; 27    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 8359.20               |
| 15.07.2007  | Bl 1; 28    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 8634.40               |
| 16.07.2007  | Bl 2; 50    | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 8905.30               |
| 17.07.2007  | Bl 2; 50/51 | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 9176.20               |
| 18.07.2007  | Bl 2; 51/52 | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 9447.10               |
| 19.07.2007  | Bl 2; 52    | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 9718.00               |
| 20.07.2007  | Bl 1; 29    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 9993.20               |
| 21.07.2007  | Bl 1; 30    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 10268.40              |
| 22.07.2007  | Bl 1; 31    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 10543.60              |
| 23.07.2007  | Bl 1; 32    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 10818.80              |
| 24.07.2007  | Bl 1; 33    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 11094.00              |
| 25.07.2007  | Bl 2; 53    | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 11364.90              |
| 26.07.2007  | Bl 2; 53/54 | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 11635.80              |
| 27.07.2007  | Bl 2; 54/55 | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 11906.70              |
| 27.07.2007  | Bl 1; 34    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 12181.90              |
| 28.07.2007  | Bl 2; 55    | 0.75                   | 4.2                 | 270.90      | 12452.80              |
| 29.07.2007  | Bl 1; 35    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 12728.00              |
| 30.07.2007  | Bl 1; 36    | 1                      | 3.2                 | 275.20      | 13003.20              |

## Anhang

|            |                    |       |     |        |          |
|------------|--------------------|-------|-----|--------|----------|
| 31.07.2007 | BI 1; 37           | 1     | 3.2 | 275.20 | 13278.40 |
| 01.08.2007 | BI 1a; 10          | 1     | 2   | 172.00 | 13450.40 |
| 01.08.2007 | BI 2; 56           | 1     | 4.2 | 361.20 | 13811.60 |
| 02.08.2007 | BI 1; 38           | 1     | 3.2 | 275.20 | 14086.80 |
| 03.08.2007 | BI 1; 39           | 1     | 3.2 | 275.20 | 14362.00 |
| 04.08.2007 | BI 1; 40           | 1     | 3.2 | 275.20 | 14637.20 |
| 05.08.2007 | BI 1; 41           | 1     | 3.2 | 275.20 | 14912.40 |
| 06.08.2007 | BI 1; 42           | 1     | 3.2 | 275.20 | 15187.60 |
| 07.08.2007 | Q 1/2              | 0.25  | 7   | 150.50 | 15338.10 |
| 08.08.2007 | Q 1/2              | 0.25  | 7   | 150.50 | 15488.60 |
| 09.08.2007 | Q 1/2              | 0.25  | 7   | 150.50 | 15639.10 |
| 09.08.2007 | BI 1a; 9           | 1     | 2   | 172.00 | 15811.10 |
| 10.08.2007 | Q 1/2              | 0.25  | 7   | 150.50 | 15961.60 |
| 10.08.2007 | BI 3; 68           | 1     | 3.2 | 275.20 | 16236.80 |
| 11.08.2007 | BI 3; 69           | 1     | 3.2 | 275.20 | 16512.00 |
| 12.08.2007 | BI 3; 70           | 1     | 3.2 | 275.20 | 16787.20 |
| 13.08.2007 | BI 3; 71           | 1     | 3.2 | 275.20 | 17062.40 |
| 14.08.2007 | BI 3; 72           | 1     | 3.2 | 275.20 | 17337.60 |
| 15.08.2007 | BI 3; 73           | 1     | 3.2 | 275.20 | 17612.80 |
| 16.08.2007 | BI 3; 74           | 1     | 3.2 | 275.20 | 17888.00 |
| 17.08.2007 | BI 3; 75           | 1     | 3.2 | 275.20 | 18163.20 |
| 18.08.2007 | BI 3; 76           | 1     | 3.2 | 275.20 | 18438.40 |
| 19.08.2007 | BI 3; 77           | 1     | 3.2 | 275.20 | 18713.60 |
| 20.08.2007 | BI 3; 78           | 1     | 3.2 | 275.20 | 18988.80 |
| 21.08.2007 | BI 3; 79           | 1     | 3.2 | 275.20 | 19264.00 |
| 22.08.2007 | BI 3; 80           | 1     | 3.2 | 275.20 | 19539.20 |
| 23.08.2007 | BI 3; 81           | 1     | 3.2 | 275.20 | 19814.40 |
| 24.08.2007 | BI 3; 82           | 1     | 3.2 | 275.20 | 20089.60 |
| 25.08.2007 | BI 3; 83           | 1     | 3.2 | 275.20 | 20364.80 |
| 26.08.2007 | BI 3; 84           | 1     | 3.2 | 275.20 | 20640.00 |
| 27.08.2007 | Q 1a/1             | 0.333 | 6.5 | 186.15 | 20826.15 |
| 28.08.2007 | BI 3; 85           | 1     | 3.2 | 275.20 | 21101.35 |
| 29.08.2007 | BI 3; 86           | 1     | 3.2 | 275.20 | 21376.55 |
| 30.08.2007 | BI 3; 87           | 1     | 3.2 | 275.20 | 21651.75 |
| 31.08.2007 | BI 3; 88           | 1     | 3.2 | 275.20 | 21926.95 |
| 01.09.2007 | BI 2; 57           | 0.666 | 4.2 | 240.56 | 22167.51 |
| 02.09.2007 | BI 2; 57/58        | 0.666 | 4.2 | 240.56 | 22408.07 |
| 03.09.2007 | BI 2; 58           | 0.668 | 4.2 | 241.28 | 22649.35 |
| 04.09.2007 | BI 2; 59           | 0.5   | 4.2 | 180.60 | 22829.95 |
| 05.09.2007 | BI 2; 59           | 0.5   | 4.2 | 180.60 | 23010.55 |
| 06.09.2007 | BI 1a; 8           | 1     | 2   | 172.00 | 23182.55 |
| 07.09.2007 | BI 2; 60           | 0.666 | 4.2 | 240.56 | 23423.11 |
| 08.09.2007 | BI 2; 60/61        | 0.666 | 4.2 | 240.56 | 23663.67 |
| 09.09.2007 | BI 2; 61           | 0.668 | 4.2 | 241.28 | 23904.95 |
| 10.09.2007 | BI 3; 89           | 1     | 3.2 | 275.20 | 24180.15 |
| 10.09.2007 | Q 1a/1             | 0.3   | 6.5 | 167.70 | 24347.85 |
| 11.09.2007 | BI 3; 90           | 1     | 3.2 | 275.20 | 24623.05 |
| 12.09.2007 | BI 1a; 7           | 1     | 2   | 172.00 | 24795.05 |
| 13.09.2007 | BI 3; 91           | 1     | 3.2 | 275.20 | 25070.25 |
| 13.09.2007 | Q 1a/1             | 0.367 | 6.5 | 205.15 | 25275.40 |
| 14.09.2007 | BI 2; 62           | 0.75  | 4.2 | 270.90 | 25546.30 |
| 15.09.2007 | BI 2; 62/63        | 0.75  | 4.2 | 270.90 | 25817.20 |
| 16.09.2007 | BI 2; 63/64        | 0.75  | 4.2 | 270.90 | 26088.10 |
| 17.09.2007 | BI 2; 64           | 0.75  | 4.2 | 270.90 | 26359.00 |
| 18.09.2007 | BI 3; 92           | 1     | 3.2 | 275.20 | 26634.20 |
| 19.09.2007 | BI 2; 65           | 0.666 | 4.2 | 240.56 | 26874.76 |
| 20.09.2007 | BI 2; 65/ BI 3; 67 | 0.666 | 4.2 | 240.56 | 27115.32 |
| 21.09.2007 | BI 3; 67           | 0.668 | 4.2 | 241.28 | 27356.60 |
| 22.09.2007 | BI 3; 93           | 1     | 3.2 | 275.20 | 27631.80 |
| 23.09.2007 | BI 3; 94           | 1     | 3.2 | 275.20 | 27907.00 |
| 24.09.2007 | BI 3; 95           | 1     | 3.2 | 275.20 | 28182.20 |
| 25.09.2007 | BI 1a; 6           | 1     | 2   | 172.00 | 28354.20 |
| 26.09.2007 | BI 3; 96           | 1     | 4.2 | 361.20 | 28715.40 |
| 27.09.2007 | BI 3; 97           | 0.75  | 4.2 | 270.90 | 28986.30 |
| 28.09.2007 | BI 3; 97/98        | 0.75  | 4.2 | 270.90 | 29257.20 |
| 29.09.2007 | BI 3; 98/99        | 0.75  | 4.2 | 270.90 | 29528.10 |

## Anhang

|            |                            |      |     |        |                 |
|------------|----------------------------|------|-----|--------|-----------------|
| 30.09.2007 | BI 3; 99                   | 0.75 | 4.2 | 270.90 | 29799.00        |
| 01.10.2007 | BI 3; 100                  | 0.6  | 4.2 | 216.72 | 30015.72        |
| 02.10.2007 | BI 3; 100/101              | 0.6  | 4.2 | 216.72 | 30232.44        |
| 03.10.2007 | BI 3; 101                  | 0.6  | 4.2 | 216.72 | 30449.16        |
| 04.10.2007 | BI 3; 102                  | 0.6  | 4.2 | 216.72 | 30665.88        |
| 05.10.2007 | BI 3; 102                  | 0.6  | 4.2 | 216.72 | 30882.60        |
| 05.10.2007 | BI 1a; 5                   | 1    | 2   | 172.00 | 31054.60        |
| 06.10.2007 | keine Einlagerungsarbeiten |      |     |        | 31054.60        |
| bis        |                            |      |     |        | 31054.60        |
| 12.11.2007 |                            |      |     |        | 31054.60        |
| 13.11.2007 | Q 2/3                      | 0.25 | 8   | 172    | 31226.60        |
| 14.11.2007 | Q 2/3                      | 0.25 | 8   | 172    | 31398.60        |
| 15.11.2007 | Q 2/3                      | 0.25 | 8   | 172    | 31570.60        |
| 16.11.2007 | Q 2/3                      | 0.25 | 8   | 172    | <b>31742.60</b> |

Ende Tabelle D. 1.

**Tabelle D. 2: Tageswerte der Beregnungswassermengen.**

| Datum    | Fläche akkum.<br>[m²] | Wasserbedarf<br>[m³/d] | Beregnungswasser-<br>menge [m³] | Beregnungswasser-<br>menge [mm] |
|----------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 11. Jun. | 120.3                 |                        |                                 |                                 |
| 12. Jun. | 240.6                 |                        |                                 |                                 |
| 13. Jun. | 361.2                 |                        |                                 |                                 |
| 14. Jun. | 481.5                 |                        |                                 |                                 |
| 15. Jun. | 601.8                 |                        |                                 |                                 |
| 16. Jun. | 722.4                 |                        |                                 |                                 |
| 17. Jun. | 903.0                 |                        |                                 |                                 |
| 18. Jun. | 1083.6                |                        |                                 |                                 |
| 19. Jun. | 1264.2                |                        |                                 |                                 |
| 20. Jun. | 1444.8                |                        |                                 |                                 |
| 21. Jun. | 1806.0                | 60.0                   | 0.03                            | <b>33.2</b>                     |
| 22. Jun. | 2046.6                | 660.0                  | 0.32                            | <b>322.5</b>                    |
| 23. Jun. | 2287.1                | 660.0                  | 0.29                            | <b>288.6</b>                    |
| 24. Jun. | 2528.4                | 660.0                  | 0.26                            | <b>261.0</b>                    |
| 25. Jun. | 2889.6                | 720.0                  | 0.25                            | <b>249.2</b>                    |
| 26. Jun. | 3164.8                | 720.0                  | 0.23                            | <b>227.5</b>                    |
| 27. Jun. | 3440.0                | 720.0                  | 0.21                            | <b>209.3</b>                    |
| 28. Jun. | 3715.2                | 772.0                  | 0.21                            | <b>207.8</b>                    |
| 29. Jun. | 4261.3                | 1432.0                 | 0.34                            | <b>336.0</b>                    |
| 30. Jun. | 4532.2                | 1432.0                 | 0.32                            | <b>316.0</b>                    |
| 1. Jul.  | 4803.1                | 1432.0                 | 0.30                            | <b>298.1</b>                    |
| 2. Jul.  | 5074.0                | 1432.0                 | 0.28                            | <b>282.2</b>                    |
| 3. Jul.  | 5349.2                | 1492.0                 | 0.28                            | <b>278.9</b>                    |
| 4. Jul.  | 5624.4                | 1492.0                 | 0.27                            | <b>265.3</b>                    |
| 5. Jul.  | 5899.6                | 1492.0                 | 0.25                            | <b>252.9</b>                    |
| 6. Jul.  | 6174.8                | 1492.0                 | 0.24                            | <b>241.6</b>                    |
| 7. Jul.  | 6445.7                | 1492.0                 | 0.23                            | <b>231.5</b>                    |
| 8. Jul.  | 6716.6                | 1656.0                 | 0.25                            | <b>246.6</b>                    |
| 9. Jul.  | 6987.5                | 1656.0                 | 0.24                            | <b>237.0</b>                    |
| 10. Jul. | 7258.4                | 1656.0                 | 0.23                            | <b>228.1</b>                    |
| 11. Jul. | 7533.6                | 1776.0                 | 0.24                            | <b>235.7</b>                    |
| 12. Jul. | 7808.8                | 1828.0                 | 0.23                            | <b>234.1</b>                    |
| 13. Jul. | 8084.0                | 1828.0                 | 0.23                            | <b>226.1</b>                    |
| 14. Jul. | 8359.2                | 1828.0                 | 0.22                            | <b>218.7</b>                    |
| 15. Jul. | 8634.4                | 1888.0                 | 0.22                            | <b>218.7</b>                    |
| 16. Jul. | 8905.3                | 1888.0                 | 0.21                            | <b>212.0</b>                    |
| 17. Jul. | 9176.2                | 1888.0                 | 0.21                            | <b>205.7</b>                    |
| 18. Jul. | 9447.1                | 1888.0                 | 0.20                            | <b>199.8</b>                    |
| 19. Jul. | 9718.0                | 1992.0                 | 0.20                            | <b>205.0</b>                    |
| 20. Jul. | 9993.2                | 2052.0                 | 0.21                            | <b>205.3</b>                    |
| 21. Jul. | 10268.4               | 2112.0                 | 0.21                            | <b>205.7</b>                    |
| 22. Jul. | 10543.6               | 2396.0                 | 0.23                            | <b>227.2</b>                    |
| 23. Jul. | 10818.8               | 2396.0                 | 0.22                            | <b>221.5</b>                    |
| 24. Jul. | 11094.0               | 2396.0                 | 0.22                            | <b>216.0</b>                    |
| 25. Jul. | 11364.9               | 2516.0                 | 0.22                            | <b>221.4</b>                    |
| 26. Jul. | 11635.8               | 2516.0                 | 0.22                            | <b>216.2</b>                    |
| 27. Jul. | 12181.9               | 2516.0                 | 0.21                            | <b>206.5</b>                    |

## Anhang

|          |         |        |      |       |
|----------|---------|--------|------|-------|
| 28. Jul. | 12452.8 | 2696.0 | 0.22 | 216.5 |
| 29. Jul. | 12728.0 | 3296.0 | 0.26 | 259.0 |
| 30. Jul. | 13003.2 | 3296.0 | 0.25 | 253.5 |
| 31. Jul. | 13278.4 | 3446.0 | 0.26 | 259.5 |
| 1. Aug.  | 13811.6 | 2412.2 | 0.17 | 174.7 |
| 2. Aug.  | 14086.8 | 2412.2 | 0.17 | 171.2 |
| 3. Aug.  | 14362.0 | 2475.2 | 0.17 | 172.3 |
| 4. Aug.  | 14637.2 | 2566.2 | 0.18 | 175.3 |
| 5. Aug.  | 14912.4 | 2608.2 | 0.17 | 174.9 |
| 6. Aug.  | 15187.6 | 2608.2 | 0.17 | 171.7 |
| 7. Aug.  | 15338.1 | 2608.2 | 0.17 | 170.0 |
| 8. Aug.  | 15488.6 | 2681.0 | 0.17 | 173.1 |
| 9. Aug.  | 15811.1 | 2681.0 | 0.17 | 169.6 |
| 10. Aug. | 16236.8 | 2681.0 | 0.17 | 165.1 |
| 11. Aug. | 16512.0 | 2723.0 | 0.16 | 164.9 |
| 12. Aug. | 16787.2 | 2723.0 | 0.16 | 162.2 |
| 13. Aug. | 17062.4 | 2723.0 | 0.16 | 159.6 |
| 14. Aug. | 17337.6 | 2723.0 | 0.16 | 157.1 |
| 15. Aug. | 17612.8 | 2723.0 | 0.15 | 154.6 |
| 16. Aug. | 17888.0 | 2723.0 | 0.15 | 152.2 |
| 17. Aug. | 18163.2 | 3234.0 | 0.18 | 178.1 |
| 18. Aug. | 18438.4 | 3234.0 | 0.18 | 175.4 |
| 19. Aug. | 18713.6 | 3276.0 | 0.18 | 175.1 |
| 20. Aug. | 18988.8 | 3276.0 | 0.17 | 172.5 |
| 21. Aug. | 19264.0 | 3276.0 | 0.17 | 170.1 |
| 22. Aug. | 19539.2 | 3276.0 | 0.17 | 167.7 |
| 23. Aug. | 19814.4 | 3276.0 | 0.17 | 165.3 |
| 24. Aug. | 20089.6 | 3276.0 | 0.16 | 163.1 |
| 25. Aug. | 20364.8 | 3348.8 | 0.16 | 164.4 |
| 26. Aug. | 20640.0 | 3348.8 | 0.16 | 162.2 |
| 27. Aug. | 20826.1 | 3348.8 | 0.16 | 160.8 |
| 28. Aug. | 21101.3 | 3479.0 | 0.16 | 164.9 |
| 29. Aug. | 21376.5 | 3479.0 | 0.16 | 162.7 |
| 30. Aug. | 21651.7 | 3479.0 | 0.16 | 160.7 |
| 31. Aug. | 21926.9 | 3899.0 | 0.18 | 177.8 |
| 1. Sep.  | 22167.5 | 3920.0 | 0.18 | 176.8 |
| 2. Sep.  | 22408.1 | 3992.8 | 0.18 | 178.2 |
| 3. Sep.  | 22649.3 | 3992.8 | 0.18 | 176.3 |
| 4. Sep.  | 22829.9 | 3992.8 | 0.17 | 174.9 |
| 5. Sep.  | 23010.5 | 3992.8 | 0.17 | 173.5 |
| 6. Sep.  | 23182.5 | 4013.8 | 0.17 | 173.1 |
| 7. Sep.  | 23423.1 | 4068.4 | 0.17 | 173.7 |
| 8. Sep.  | 23663.7 | 4068.4 | 0.17 | 171.9 |
| 9. Sep.  | 23904.9 | 0.0    | 0.00 | 0.0   |
| 10. Sep. | 24347.8 | 0.0    | 0.00 | 0.0   |
| 11. Sep. | 24623.0 | 3304.0 | 0.13 | 134.2 |
| 12. Sep. | 24795.0 | 3304.0 | 0.13 | 133.3 |
| 13. Sep. | 25275.4 | 1180.0 | 0.05 | 46.7  |
| 14. Sep. | 25546.3 | 3325.0 | 0.13 | 130.2 |
| 15. Sep. | 25817.2 | 3325.0 | 0.13 | 128.8 |
| 16. Sep. | 26088.1 | 2860.0 | 0.11 | 109.6 |
| 17. Sep. | 26359.0 | 2860.0 | 0.11 | 108.5 |
| 18. Sep. | 26634.2 | 2860.0 | 0.11 | 107.4 |
| 19. Sep. | 26874.8 | 2860.0 | 0.11 | 106.4 |
| 20. Sep. | 27115.3 | 2860.0 | 0.11 | 105.5 |
| 21. Sep. | 27356.6 | 2860.0 | 0.10 | 104.5 |
| 22. Sep. | 27631.8 | 2860.0 | 0.10 | 103.5 |
| 23. Sep. | 27907.0 | 2860.0 | 0.10 | 102.5 |
| 24. Sep. | 28182.2 | 2860.0 | 0.10 | 101.5 |
| 25. Sep. | 28354.2 | 2860.0 | 0.10 | 100.9 |
| 26. Sep. | 28715.4 | 2860.0 | 0.10 | 99.6  |
| 27. Sep. | 28986.3 | 2860.0 | 0.10 | 98.7  |
| 28. Sep. | 29257.2 | 0.0    | 0.00 | 0.0   |
| 29. Sep. | 29528.1 | 0.0    | 0.00 | 0.0   |
| 30. Sep. | 29799.0 | 800.0  | 0.03 | 26.8  |
| 1. Okt.  | 30015.7 | 1000.0 | 0.03 | 33.3  |
| 2. Okt.  | 30232.4 | 1800.0 | 0.06 | 59.5  |
| 3. Okt.  | 30449.2 | 2860.0 | 0.09 | 93.9  |
| 4. Okt.  | 30665.9 | 2860.0 | 0.09 | 93.3  |
| 5. Okt.  | 31054.6 | 2860.0 | 0.09 | 92.1  |
| 6. Okt.  | 31054.6 | 2505.0 | 0.08 | 80.7  |

## Anhang

|          |   |        |      |             |
|----------|---|--------|------|-------------|
| 7. Okt.  | 31054.6   | 1200.0 | 0.04 | <b>38.6</b> |
| 8. Okt.  | 31054.6   | 1200.0 | 0.04 | <b>38.6</b> |
| 9. Okt.  | 31054.6   | 1200.0 | 0.04 | <b>38.6</b> |
| 10. Okt. | 31054.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.7</b> |
| 11. Okt. | 31054.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.7</b> |
| bis      | <b>Keine Veränderung der Werte in dieser Zeit</b> |        |      |             |
| 28. Okt. | 31054.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.7</b> |
| 29. Okt. | 31054.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.7</b> |
| 30. Okt. | 31054.6   | 1200.0 | 0.04 | <b>38.6</b> |
| 31. Okt. | 31054.6   | 1200.0 | 0.04 | <b>38.6</b> |
| 1. Nov.  | 31054.6   | 1200.0 | 0.04 | <b>38.6</b> |
| 2. Nov.  | 31054.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.7</b> |
| 3. Nov.  | 31054.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.7</b> |
| 4. Nov.  | 31054.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.7</b> |
| 5. Nov.  | 31054.6   | 1200.0 | 0.04 | <b>38.6</b> |
| 6. Nov.  | 31054.6   | 1200.0 | 0.04 | <b>38.6</b> |
| 7. Nov.  | 31054.6   | 1200.0 | 0.04 | <b>38.6</b> |
| 8. Nov.  | 31054.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.7</b> |
| 9. Nov.  | 31054.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.7</b> |
| 10. Nov. | 31054.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.7</b> |
| 11. Nov. | 31054.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.7</b> |
| 12. Nov. | 31054.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.7</b> |
| 13. Nov. | 31226.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>80.2</b> |
| 14. Nov. | 31398.6   | 2505.0 | 0.08 | <b>79.8</b> |
| 15. Nov. | 31570.6   | 1670.0 | 0.05 | <b>52.9</b> |
| 16. Nov. | 31742.6   | 1670.0 | 0.05 | <b>52.6</b> |
| bis      | <b>Keine Veränderung der Werte in dieser Zeit</b> |        |      |             |
| 11. Dez. | 31742.6   | 1670.0 | 0.05 | <b>52.6</b> |
| 12. Dez. | 31742.6   | 1670.0 | 0.05 | <b>52.6</b> |
| 13. Dez. | 31742.6   | 1670.0 | 0.05 | <b>52.6</b> |
| 14. Dez. | 31742.6   | 1670.0 | 0.05 | <b>52.6</b> |
| 15. Dez. | 31742.6   | 1670.0 | 0.05 | <b>52.6</b> |

**Ende Tabelle D. 2.**

**Tabelle D. 3: Verdunstungshöhen.**

| Verdunstung |        |       |            |      |        |        |                |               |
|-------------|--------|-------|------------|------|--------|--------|----------------|---------------|
| Datum       | t [°C] | f [%] | Wind [BFT] | F    | E      | e      | V ohne Ff [mm] | V mit Ff [mm] |
| 09.06.2007  | 22.7   | 60    | 2          | 0.53 | 27.567 | 16.540 | 5.84           | <b>17.88</b>  |
| 10.06.2007  | 23     | 73    | 1          | 0.35 | 28.073 | 20.493 | 2.65           | <b>8.12</b>   |
| 11.06.2007  | 24.8   | 79    | 1          | 0.35 | 31.279 | 24.710 | 2.30           | <b>7.03</b>   |
| 12.06.2007  | 19     | 75    | 2          | 0.53 | 21.955 | 16.466 | 2.91           | <b>8.90</b>   |
| 13.06.2007  | 22.7   | 45    | 2          | 0.53 | 27.567 | 12.405 | 8.04           | <b>24.59</b>  |
| 14.06.2007  | 19.5   | 86    | 2          | 0.53 | 22.650 | 19.479 | 1.68           | <b>5.14</b>   |
| 15.06.2007  | 18.6   | 90    | 2          | 0.53 | 21.413 | 19.272 | 1.13           | <b>3.47</b>   |
| 16.06.2007  | 19.4   | 56    | 2          | 0.53 | 22.509 | 12.605 | 5.25           | <b>16.06</b>  |
| 17.06.2007  | 21.1   | 36    | 2          | 0.53 | 25.003 | 9.001  | 8.48           | <b>25.95</b>  |
| 18.06.2007  | 21.6   | 51    | 3          | 0.53 | 25.781 | 13.148 | 6.70           | <b>20.49</b>  |
| 19.06.2007  | 24.8   | 42    | 1          | 0.35 | 31.279 | 13.137 | 6.35           | <b>19.43</b>  |
| 20.06.2007  | 23.8   | 61    | 2          | 0.53 | 29.460 | 17.971 | 6.09           | <b>18.63</b>  |
| 21.06.2007  | 16     | 91    | 2          | 0.53 | 18.166 | 16.531 | 0.87           | <b>2.65</b>   |
| 22.06.2007  | 17.5   | 79    | 2          | 0.53 | 19.982 | 15.786 | 2.22           | <b>6.81</b>   |
| 23.06.2007  | 20.1   | 46    | 3          | 0.53 | 23.508 | 10.814 | 6.73           | <b>20.59</b>  |
| 24.06.2007  | 19.8   | 58    | 2          | 0.53 | 23.075 | 13.384 | 5.14           | <b>15.72</b>  |
| 25.06.2007  | 20.5   | 46    | 2          | 0.53 | 24.096 | 11.084 | 6.90           | <b>21.10</b>  |
| 26.06.2007  | 15.8   | 62    | 4          | 0.53 | 17.935 | 11.120 | 3.61           | <b>11.05</b>  |
| 27.06.2007  | 17.2   | 32    | 3          | 0.53 | 19.607 | 6.274  | 7.07           | <b>21.62</b>  |
| 28.06.2007  | 18.1   | 30    | 3          | 0.53 | 20.752 | 6.226  | 7.70           | <b>23.56</b>  |
| 29.06.2007  | 18     | 64    | 3          | 0.53 | 20.622 | 13.198 | 3.93           | <b>12.04</b>  |
| 30.06.2007  | 19     | 51    | 3          | 0.53 | 21.955 | 11.197 | 5.70           | <b>17.45</b>  |
| 01.07.2007  | 22     | 63    | 2          | 0.53 | 26.418 | 16.643 | 5.18           | <b>15.85</b>  |
| 02.07.2007  | 19     | 64    | 3          | 0.53 | 21.955 | 14.051 | 4.19           | <b>12.82</b>  |
| 03.07.2007  | 14.9   | 84    | 2          | 0.53 | 16.928 | 14.220 | 1.44           | <b>4.39</b>   |
| 04.07.2007  | 15     | 82    | 3          | 0.53 | 17.037 | 13.971 | 1.63           | <b>4.97</b>   |
| 05.07.2007  | 16.5   | 84    | 3          | 0.53 | 18.755 | 15.754 | 1.59           | <b>4.87</b>   |

## Anhang

|            |      |    |   |      |        |        |       |              |
|------------|------|----|---|------|--------|--------|-------|--------------|
| 06.07.2007 | 16.8 | 54 | 4 | 0.53 | 19.116 | 10.323 | 4.66  | <b>14.26</b> |
| 07.07.2007 | 20   | 44 | 3 | 0.53 | 23.363 | 10.280 | 6.93  | <b>21.22</b> |
| 08.07.2007 | 22.2 | 24 | 2 | 0.53 | 26.742 | 6.418  | 10.77 | <b>32.96</b> |
| 09.07.2007 | 17   | 48 | 2 | 0.53 | 19.360 | 9.293  | 5.34  | <b>16.33</b> |
| 10.07.2007 | 19.3 | 40 | 2 | 0.53 | 22.370 | 8.948  | 7.11  | <b>21.77</b> |
| 11.07.2007 | 16   | 74 | 3 | 0.53 | 18.166 | 13.443 | 2.50  | <b>7.66</b>  |
| 12.07.2007 | 18.7 | 60 | 3 | 0.53 | 21.547 | 12.928 | 4.57  | <b>13.98</b> |
| 13.07.2007 | 23.7 | 62 | 2 | 0.53 | 29.284 | 18.156 | 5.90  | <b>18.05</b> |
| 14.07.2007 | 30.9 | 29 | 2 | 0.53 | 44.642 | 12.946 | 16.80 | <b>51.40</b> |
| 15.07.2007 | 33.3 | 26 | 2 | 0.53 | 51.123 | 13.292 | 20.05 | <b>61.35</b> |
| 16.07.2007 | 31.5 | 20 | 2 | 0.53 | 46.192 | 9.238  | 19.59 | <b>59.93</b> |
| 17.07.2007 | 24.1 | 36 | 3 | 0.53 | 29.996 | 10.799 | 10.17 | <b>31.13</b> |
| 18.07.2007 | 22.8 | 42 | 2 | 0.53 | 27.735 | 11.649 | 8.53  | <b>26.09</b> |
| 19.07.2007 | 22.1 | 46 | 1 | 0.35 | 26.580 | 12.227 | 5.02  | <b>15.37</b> |
| 20.07.2007 | 25   | 59 | 2 | 0.53 | 31.654 | 18.676 | 6.88  | <b>21.05</b> |
| 21.07.2007 | 23.5 | 31 | 2 | 0.53 | 28.933 | 8.969  | 10.58 | <b>32.38</b> |
| 22.07.2007 | 22   | 34 | 3 | 0.53 | 26.418 | 8.982  | 9.24  | <b>28.28</b> |
| 23.07.2007 | 20.7 | 50 | 2 | 0.53 | 24.395 | 12.198 | 6.46  | <b>19.78</b> |
| 24.07.2007 | 14.1 | 79 | 4 | 0.53 | 16.075 | 12.699 | 1.79  | <b>5.47</b>  |
| 25.07.2007 | 22   | 38 | 3 | 0.53 | 26.418 | 10.039 | 8.68  | <b>26.56</b> |
| 26.07.2007 | 25   | 38 | 3 | 0.53 | 31.654 | 12.029 | 10.40 | <b>31.83</b> |
| 27.07.2007 | 21.2 | 43 | 3 | 0.53 | 25.157 | 10.817 | 7.60  | <b>23.26</b> |
| 28.07.2007 | 19   | 71 | 3 | 0.53 | 21.955 | 15.588 | 3.37  | <b>10.33</b> |
| 29.07.2007 | 15.3 | 91 | 2 | 0.53 | 17.369 | 15.806 | 0.83  | <b>2.54</b>  |
| 30.07.2007 | 15   | 65 | 3 | 0.53 | 17.037 | 11.074 | 3.16  | <b>9.67</b>  |
| 31.07.2007 | 18   | 37 | 2 | 0.53 | 20.622 | 7.630  | 6.89  | <b>21.07</b> |
| 01.08.2007 | 22.1 | 32 | 2 | 0.53 | 26.580 | 8.506  | 9.58  | <b>29.31</b> |
| 02.08.2007 | 16   | 90 | 2 | 0.53 | 18.166 | 16.350 | 0.96  | <b>2.95</b>  |
| 03.08.2007 | 20   | 40 | 2 | 0.53 | 23.363 | 9.345  | 7.43  | <b>22.73</b> |
| 04.08.2007 | 24.8 | 31 | 1 | 0.35 | 31.279 | 9.697  | 7.55  | <b>23.11</b> |
| 05.08.2007 | 29.3 | 28 | 2 | 0.53 | 40.729 | 11.404 | 15.54 | <b>47.56</b> |
| 06.08.2007 | 32   | 31 | 2 | 0.53 | 47.518 | 14.731 | 17.38 | <b>53.17</b> |
| 07.08.2007 | 18.5 | 91 | 1 | 0.35 | 21.279 | 19.364 | 0.67  | <b>2.05</b>  |
| 08.08.2007 | 16.6 | 85 | 2 | 0.53 | 18.874 | 16.043 | 1.50  | <b>4.59</b>  |
| 09.08.2007 | 17.4 | 90 | 2 | 0.53 | 19.856 | 17.871 | 1.05  | <b>3.22</b>  |
| 10.08.2007 | 18.8 | 89 | 2 | 0.53 | 21.683 | 19.298 | 1.26  | <b>3.87</b>  |
| 11.08.2007 | 20   | 45 | 2 | 0.53 | 23.363 | 10.513 | 6.81  | <b>20.84</b> |
| 12.08.2007 | 22.9 | 34 | 1 | 0.35 | 27.903 | 9.487  | 6.45  | <b>19.72</b> |
| 13.08.2007 | 21.4 | 35 | 2 | 0.53 | 25.467 | 8.913  | 8.77  | <b>26.85</b> |
| 14.08.2007 | 25   | 37 | 2 | 0.53 | 31.654 | 11.712 | 10.57 | <b>32.34</b> |
| 15.08.2007 | 25.2 | 66 | 3 | 0.53 | 32.033 | 21.142 | 5.77  | <b>17.66</b> |
| 16.08.2007 | 20   | 45 | 3 | 0.53 | 23.363 | 10.513 | 6.81  | <b>20.84</b> |
| 17.08.2007 | 19   | 45 | 3 | 0.53 | 21.955 | 9.880  | 6.40  | <b>19.58</b> |
| 18.08.2007 | 20.9 | 39 | 2 | 0.53 | 24.697 | 9.632  | 7.98  | <b>24.43</b> |
| 19.08.2007 | 22.2 | 46 | 2 | 0.53 | 26.742 | 12.301 | 7.65  | <b>23.42</b> |
| 20.08.2007 | 18.8 | 68 | 2 | 0.53 | 21.683 | 14.744 | 3.68  | <b>11.25</b> |
| 21.08.2007 | 19   | 79 | 2 | 0.53 | 21.955 | 17.345 | 2.44  | <b>7.48</b>  |
| 22.08.2007 | 16.1 | 88 | 2 | 0.53 | 18.283 | 16.089 | 1.16  | <b>3.56</b>  |
| 23.08.2007 | 25.1 | 40 | 2 | 0.53 | 31.843 | 12.737 | 10.13 | <b>30.99</b> |
| 24.08.2007 | 23.9 | 54 | 1 | 0.35 | 29.638 | 16.005 | 4.77  | <b>14.60</b> |
| 25.08.2007 | 24.9 | 53 | 2 | 0.53 | 31.466 | 16.677 | 7.84  | <b>23.98</b> |
| 26.08.2007 | 21.8 | 71 | 2 | 0.53 | 26.098 | 18.529 | 4.01  | <b>12.27</b> |
| 27.08.2007 | 17.9 | 42 | 2 | 0.53 | 20.492 | 8.607  | 6.30  | <b>19.28</b> |
| 28.08.2007 | 17   | 43 | 1 | 0.35 | 19.360 | 8.325  | 3.86  | <b>11.82</b> |
| 29.08.2007 | 17   | 36 | 1 | 0.35 | 19.360 | 6.970  | 4.34  | <b>13.27</b> |
| 30.08.2007 | 17.3 | 47 | 2 | 0.53 | 19.731 | 9.274  | 5.54  | <b>16.96</b> |
| 31.08.2007 | 18.8 | 54 | 3 | 0.53 | 21.683 | 11.709 | 5.29  | <b>16.18</b> |
| 01.09.2007 | 17.8 | 71 | 2 | 0.53 | 20.364 | 14.458 | 3.13  | <b>9.58</b>  |
| 02.09.2007 | 18.4 | 61 | 2 | 0.53 | 21.146 | 12.899 | 4.37  | <b>13.38</b> |
| 03.09.2007 | 17   | 39 | 2 | 0.53 | 19.360 | 7.550  | 6.26  | <b>19.15</b> |
| 04.09.2007 | 12.4 | 50 | 2 | 0.53 | 14.386 | 7.193  | 3.81  | <b>11.67</b> |
| 05.09.2007 | 15   | 43 | 2 | 0.53 | 17.037 | 7.326  | 5.15  | <b>15.75</b> |
| 06.09.2007 | 18.1 | 60 | 2 | 0.53 | 20.752 | 12.451 | 4.40  | <b>13.46</b> |
| 07.09.2007 | 17   | 70 | 2 | 0.53 | 19.360 | 13.552 | 3.08  | <b>9.42</b>  |
| 08.09.2007 | 17.1 | 75 | 2 | 0.53 | 19.483 | 14.612 | 2.58  | <b>7.90</b>  |
| 09.09.2007 | 16   | 59 | 2 | 0.53 | 18.166 | 10.718 | 3.95  | <b>12.08</b> |
| 10.09.2007 | 14   | 88 | 3 | 0.53 | 15.971 | 14.054 | 1.02  | <b>3.11</b>  |
| 11.09.2007 | 17.1 | 59 | 2 | 0.53 | 19.483 | 11.495 | 4.23  | <b>12.95</b> |
| 12.09.2007 | 16.5 | 51 | 1 | 0.35 | 18.755 | 9.565  | 3.22  | <b>9.84</b>  |
| 13.09.2007 | 16   | 65 | 1 | 0.35 | 18.166 | 11.808 | 2.23  | <b>6.81</b>  |
| 14.09.2007 | 19.8 | 44 | 2 | 0.53 | 23.075 | 10.153 | 6.85  | <b>20.96</b> |

## Anhang

|            |      |    |   |      |        |        |       |              |
|------------|------|----|---|------|--------|--------|-------|--------------|
| 15.09.2007 | 17   | 42 | 2 | 0.53 | 19.360 | 8.131  | 5.95  | <b>18.21</b> |
| 16.09.2007 | 21.7 | 44 | 2 | 0.53 | 25.939 | 11.413 | 7.70  | <b>23.56</b> |
| 17.09.2007 | 20.2 | 60 | 2 | 0.53 | 23.654 | 14.193 | 5.01  | <b>15.34</b> |
| 18.09.2007 | 12.9 | 44 | 2 | 0.53 | 14.865 | 6.541  | 4.41  | <b>13.50</b> |
| 19.09.2007 | 15.4 | 42 | 3 | 0.53 | 17.481 | 7.342  | 5.37  | <b>16.44</b> |
| 20.09.2007 | 17.2 | 50 | 3 | 0.53 | 19.607 | 9.803  | 5.20  | <b>15.90</b> |
| 21.09.2007 | 21   | 45 | 2 | 0.53 | 24.850 | 11.182 | 7.24  | <b>22.17</b> |
| 22.09.2007 | 23.2 | 31 | 2 | 0.53 | 28.414 | 8.808  | 10.39 | <b>31.80</b> |
| 23.09.2007 | 25   | 38 | 2 | 0.53 | 31.654 | 12.029 | 10.40 | <b>31.83</b> |
| 24.09.2007 | 21.8 | 39 | 3 | 0.53 | 26.098 | 10.178 | 8.44  | <b>25.82</b> |
| 25.09.2007 | 16.8 | 43 | 2 | 0.53 | 19.116 | 8.220  | 5.77  | <b>17.67</b> |
| 26.09.2007 | 15.1 | 55 | 2 | 0.53 | 17.147 | 9.431  | 4.09  | <b>12.51</b> |
| 27.09.2007 | 12.1 | 89 | 2 | 0.53 | 14.104 | 12.553 | 0.82  | <b>2.52</b>  |
| 28.09.2007 | 14.9 | 75 | 2 | 0.53 | 16.928 | 12.696 | 2.24  | <b>6.86</b>  |
| 29.09.2007 | 12   | 91 | 4 | 0.53 | 14.012 | 12.750 | 0.67  | <b>2.05</b>  |
| 30.09.2007 | 15.1 | 56 | 2 | 0.53 | 17.147 | 9.603  | 4.00  | <b>12.24</b> |
| 01.10.2007 | 15.1 | 84 | 1 | 0.35 | 17.147 | 14.404 | 0.96  | <b>2.94</b>  |
| 02.10.2007 | 14.7 | 89 | 1 | 0.35 | 16.711 | 14.873 | 0.64  | <b>1.97</b>  |
| 03.10.2007 | 20.1 | 71 | 2 | 0.53 | 23.508 | 16.691 | 3.61  | <b>11.06</b> |
| 04.10.2007 | 18   | 66 | 2 | 0.53 | 20.622 | 13.610 | 3.72  | <b>11.37</b> |
| 05.10.2007 | 15.7 | 55 | 1 | 0.35 | 17.821 | 9.801  | 2.81  | <b>8.59</b>  |
| 06.10.2007 | 15.1 | 69 | 2 | 0.53 | 17.147 | 11.832 | 2.82  | <b>8.62</b>  |
| 07.10.2007 | 17.3 | 43 | 1 | 0.35 | 19.731 | 8.484  | 3.94  | <b>12.05</b> |
| 08.10.2007 | 15   | 65 | 1 | 0.35 | 17.037 | 11.074 | 2.09  | <b>6.39</b>  |
| 09.10.2007 | 16   | 57 | 1 | 0.35 | 18.166 | 10.355 | 2.73  | <b>8.37</b>  |
| 10.10.2007 | 15.2 | 66 | 1 | 0.35 | 17.258 | 11.390 | 2.05  | <b>6.28</b>  |
| 11.10.2007 | 17.5 | 42 | 1 | 0.35 | 19.982 | 8.392  | 4.06  | <b>12.41</b> |
| 12.10.2007 | 14   | 89 | 2 | 0.53 | 15.971 | 14.214 | 0.93  | <b>2.85</b>  |
| 13.10.2007 | 15.1 | 51 | 1 | 0.35 | 17.147 | 8.745  | 2.94  | <b>9.00</b>  |
| 14.10.2007 | 18.9 | 31 | 2 | 0.53 | 21.818 | 6.764  | 7.98  | <b>24.42</b> |
| 15.10.2007 | 19.9 | 53 | 2 | 0.53 | 23.219 | 12.306 | 5.78  | <b>17.70</b> |
| 16.10.2007 | 19   | 42 | 2 | 0.53 | 21.955 | 9.221  | 6.75  | <b>20.65</b> |
| 17.10.2007 | 14.8 | 90 | 3 | 0.53 | 16.819 | 15.137 | 0.89  | <b>2.73</b>  |
| 18.10.2007 | 10   | 69 | 3 | 0.53 | 12.267 | 8.464  | 2.02  | <b>6.17</b>  |
| 19.10.2007 | 10   | 63 | 2 | 0.53 | 12.267 | 7.728  | 2.41  | <b>7.36</b>  |
| 20.10.2007 | 8.9  | 49 | 1 | 0.35 | 11.391 | 5.582  | 2.03  | <b>6.22</b>  |
| 21.10.2007 | 8.1  | 91 | 2 | 0.53 | 10.789 | 9.818  | 0.51  | <b>1.57</b>  |
| 22.10.2007 | 7.9  | 60 | 2 | 0.53 | 10.643 | 6.386  | 2.26  | <b>6.90</b>  |
| 23.10.2007 | 7.6  | 54 | 3 | 0.53 | 10.427 | 5.631  | 2.54  | <b>7.78</b>  |
| 24.10.2007 | 6.8  | 77 | 3 | 0.53 | 9.871  | 7.600  | 1.20  | <b>3.68</b>  |
| 25.10.2007 | 8.7  | 79 | 2 | 0.53 | 11.238 | 8.878  | 1.25  | <b>3.83</b>  |
| 26.10.2007 | 9.5  | 70 | 2 | 0.53 | 11.862 | 8.303  | 1.89  | <b>5.77</b>  |
| 27.10.2007 | 8    | 70 | 2 | 0.53 | 10.716 | 7.501  | 1.70  | <b>5.21</b>  |
| 28.10.2007 | 9.9  | 62 | 2 | 0.53 | 12.185 | 7.555  | 2.45  | <b>7.51</b>  |
| 29.10.2007 | 9.1  | 90 | 2 | 0.53 | 11.546 | 10.391 | 0.61  | <b>1.87</b>  |
| 30.10.2007 | 10.3 | 67 | 2 | 0.53 | 12.516 | 8.385  | 2.19  | <b>6.70</b>  |
| 31.10.2007 | 11.4 | 57 | 2 | 0.53 | 13.467 | 7.676  | 3.07  | <b>9.39</b>  |
| 01.11.2007 | 12   | 69 | 2 | 0.53 | 14.012 | 9.668  | 2.30  | <b>7.04</b>  |
| 02.11.2007 | 12.2 | 90 | 2 | 0.53 | 14.197 | 12.778 | 0.75  | <b>2.30</b>  |
| 03.11.2007 | 12.8 | 85 | 2 | 0.53 | 14.768 | 12.553 | 1.17  | <b>3.59</b>  |
| 04.11.2007 | 10.8 | 56 | 1 | 0.35 | 12.940 | 7.247  | 1.99  | <b>6.10</b>  |
| 05.11.2007 | 10.8 | 52 | 2 | 0.53 | 12.940 | 6.729  | 3.29  | <b>10.07</b> |
| 06.11.2007 | 7.2  | 53 | 3 | 0.53 | 10.146 | 5.377  | 2.53  | <b>7.73</b>  |
| 07.11.2007 | 8.5  | 91 | 4 | 0.53 | 11.086 | 10.089 | 0.53  | <b>1.62</b>  |
| 08.11.2007 | 11.3 | 73 | 3 | 0.53 | 13.378 | 9.766  | 1.91  | <b>5.86</b>  |
| 09.11.2007 | 4.9  | 80 | 4 | 0.53 | 8.652  | 6.922  | 0.92  | <b>2.81</b>  |
| 10.11.2007 | 7.4  | 69 | 3 | 0.53 | 10.286 | 7.097  | 1.69  | <b>5.17</b>  |
| 11.11.2007 | 8.1  | 86 | 4 | 0.53 | 10.789 | 9.279  | 0.80  | <b>2.45</b>  |
| 12.11.2007 | 6.1  | 51 | 3 | 0.53 | 9.405  | 4.797  | 2.44  | <b>7.47</b>  |
| 13.11.2007 | 3.8  | 70 | 2 | 0.53 | 8.009  | 5.606  | 1.27  | <b>3.90</b>  |
| 14.11.2007 | 2.8  | 64 | 2 | 0.53 | 7.462  | 4.775  | 1.42  | <b>4.36</b>  |
| 15.11.2007 | 1.3  | 83 | 2 | 0.53 | 6.702  | 5.563  | 0.60  | <b>1.85</b>  |
| 16.11.2007 | 4    | 59 | 2 | 0.53 | 8.123  | 4.792  | 1.77  | <b>5.40</b>  |
| 17.11.2007 | 6.4  | 68 | 2 | 0.53 | 9.602  | 6.530  | 1.63  | <b>4.98</b>  |
| 18.11.2007 | 8    | 58 | 2 | 0.53 | 10.716 | 6.215  | 2.39  | <b>7.30</b>  |
| 19.11.2007 | 4.4  | 60 | 2 | 0.53 | 8.354  | 5.013  | 1.77  | <b>5.42</b>  |
| 20.11.2007 | 10.7 | 44 | 2 | 0.53 | 12.854 | 5.656  | 3.82  | <b>11.67</b> |
| 21.11.2007 | 10.3 | 80 | 2 | 0.53 | 12.516 | 10.012 | 1.33  | <b>4.06</b>  |
| 22.11.2007 | 9.8  | 75 | 2 | 0.53 | 12.103 | 9.077  | 1.60  | <b>4.91</b>  |
| 23.11.2007 | 5    | 88 | 2 | 0.53 | 8.713  | 7.667  | 0.55  | <b>1.70</b>  |
| 24.11.2007 | 4.9  | 61 | 2 | 0.53 | 8.652  | 5.278  | 1.79  | <b>5.47</b>  |



|            |      |    |   |      |        |        |      |              |
|------------|------|----|---|------|--------|--------|------|--------------|
| 25.11.2007 | 4    | 84 | 3 | 0.53 | 8.123  | 6.823  | 0.69 | <b>2.11</b>  |
| 26.11.2007 | 4.7  | 67 | 3 | 0.53 | 8.532  | 5.716  | 1.49 | <b>4.57</b>  |
| 27.11.2007 | 5.9  | 69 | 2 | 0.53 | 9.276  | 6.400  | 1.52 | <b>4.66</b>  |
| 28.11.2007 | 6    | 50 | 2 | 0.53 | 9.340  | 4.670  | 2.48 | <b>7.57</b>  |
| 29.11.2007 | 6.6  | 79 | 3 | 0.53 | 9.736  | 7.691  | 1.08 | <b>3.32</b>  |
| 30.11.2007 | 7    | 85 | 3 | 0.53 | 10.007 | 8.506  | 0.80 | <b>2.43</b>  |
| 01.12.2007 | 9.9  | 49 | 4 | 0.53 | 12.185 | 5.971  | 3.29 | <b>10.08</b> |
| 02.12.2007 | 8.8  | 89 | 4 | 0.53 | 11.314 | 10.070 | 0.66 | <b>2.02</b>  |
| 03.12.2007 | 5.5  | 85 | 4 | 0.53 | 9.022  | 7.669  | 0.72 | <b>2.19</b>  |
| 04.12.2007 | 6.9  | 83 | 3 | 0.53 | 9.939  | 8.249  | 0.90 | <b>2.74</b>  |
| 05.12.2007 | 11.9 | 70 | 3 | 0.53 | 13.919 | 9.744  | 2.21 | <b>6.77</b>  |
| 06.12.2007 | 9    | 91 | 4 | 0.53 | 11.468 | 10.436 | 0.55 | <b>1.67</b>  |
| 07.12.2007 | 8    | 83 | 5 | 0.53 | 10.716 | 8.894  | 0.97 | <b>2.95</b>  |
| 08.12.2007 | 6.5  | 63 | 4 | 0.53 | 9.669  | 6.091  | 1.90 | <b>5.80</b>  |
| 09.12.2007 | 7.6  | 88 | 3 | 0.53 | 10.427 | 9.176  | 0.66 | <b>2.03</b>  |
| 10.12.2007 | 5.9  | 92 | 2 | 0.53 | 9.276  | 8.534  | 0.39 | <b>1.20</b>  |
| 11.12.2007 | 5.2  | 77 | 2 | 0.53 | 8.835  | 6.803  | 1.08 | <b>3.30</b>  |
| 12.12.2007 | 4.9  | 77 | 2 | 0.53 | 8.652  | 6.662  | 1.05 | <b>3.23</b>  |
| 13.12.2007 | 4.4  | 70 | 2 | 0.53 | 8.354  | 5.848  | 1.33 | <b>4.06</b>  |
| 14.12.2007 | 1.9  | 55 | 2 | 0.53 | 6.997  | 3.848  | 1.67 | <b>5.11</b>  |
| 15.12.2007 | 1.2  | 68 | 2 | 0.53 | 6.654  | 4.525  | 1.13 | <b>3.45</b>  |
| 16.12.2007 | 0.4  | 67 | 2 | 0.53 | 6.280  | 4.208  | 1.10 | <b>3.36</b>  |
| 17.12.2007 | 2    | 52 | 3 | 0.53 | 7.048  | 3.665  | 1.79 | <b>5.49</b>  |

Ende Tabelle D. 3.

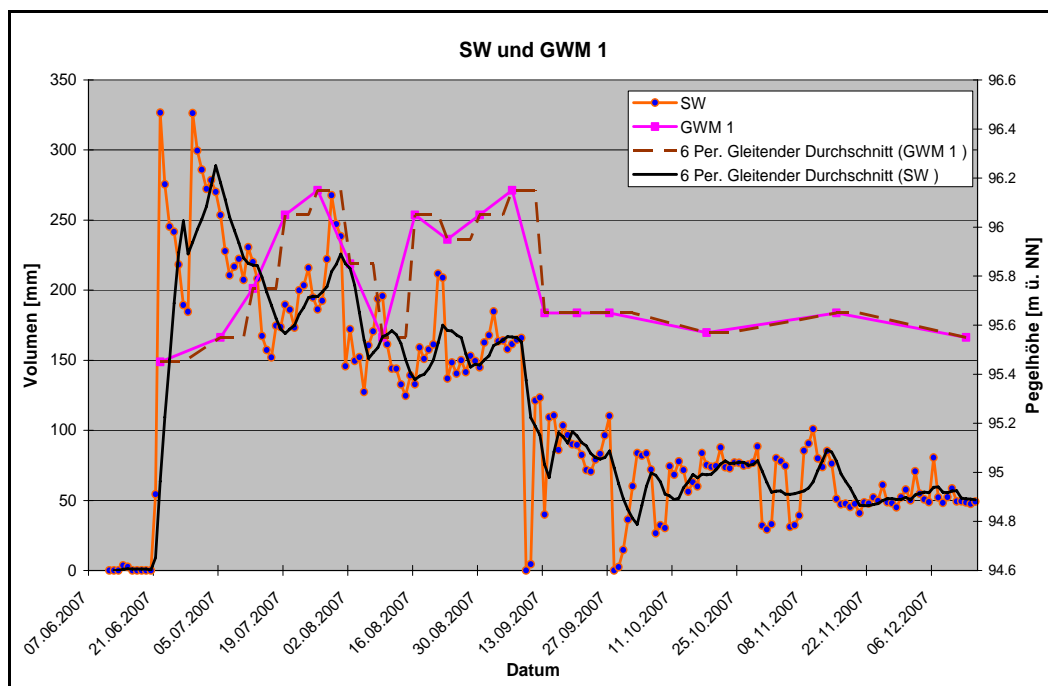


Abbildung D. 1: Verlauf von SW und GWM 1, sowie deren gleitende Mittel.

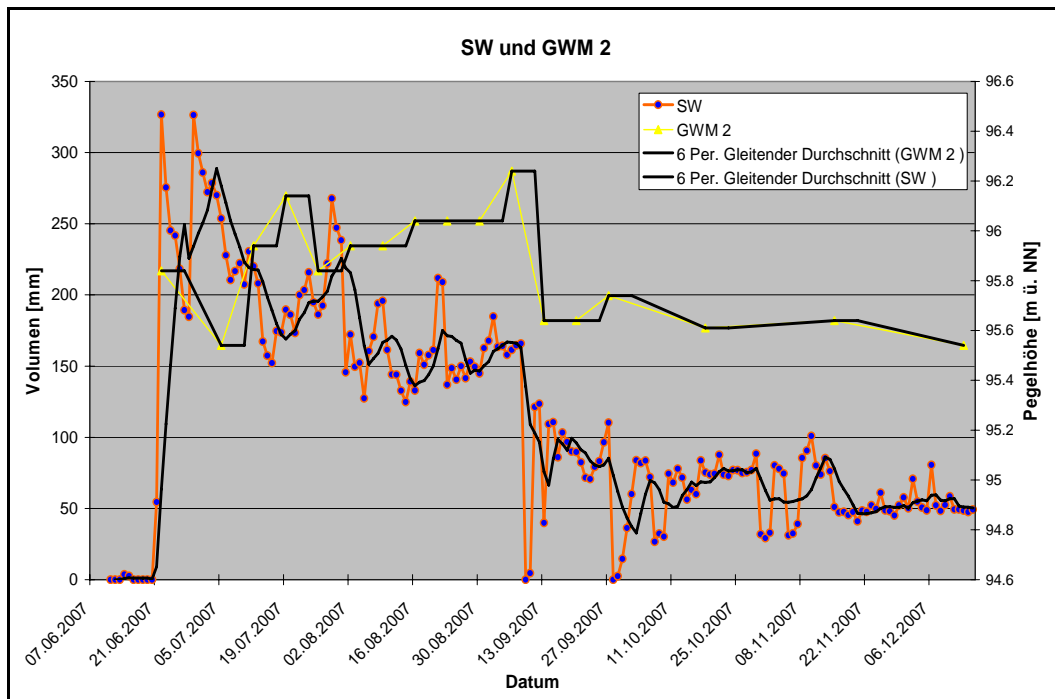


Abbildung D. 2: Verlauf von SW und GWM 2, sowie deren gleitende Mittel.

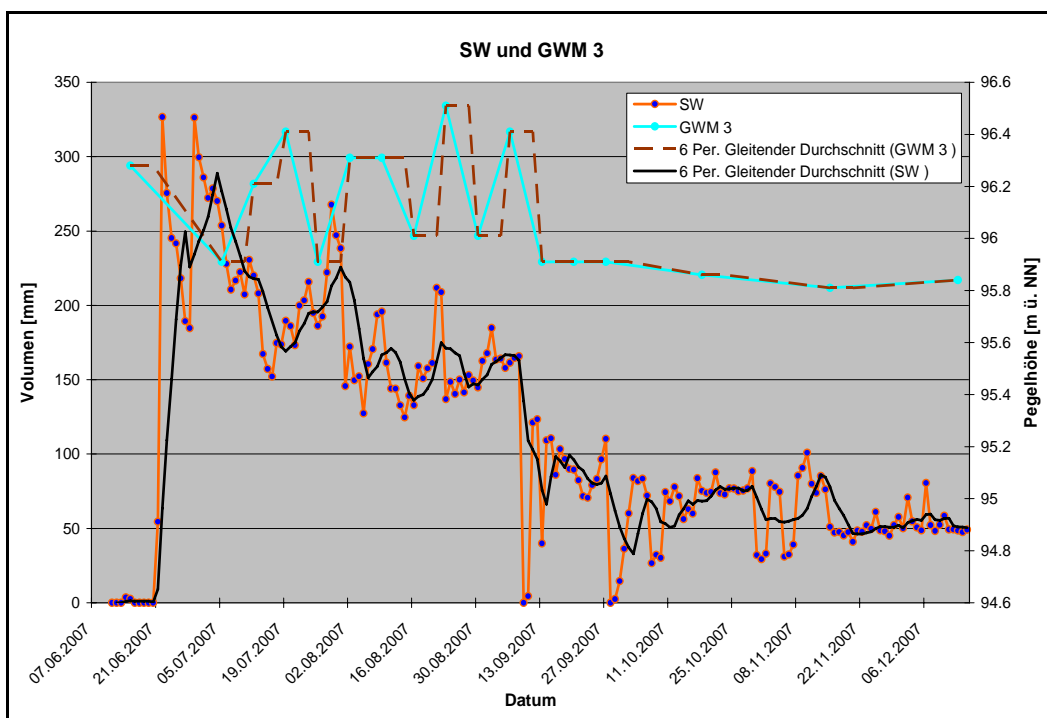


Abbildung D. 3: Verlauf von SW und GWM 3, sowie deren gleitende Mittel.

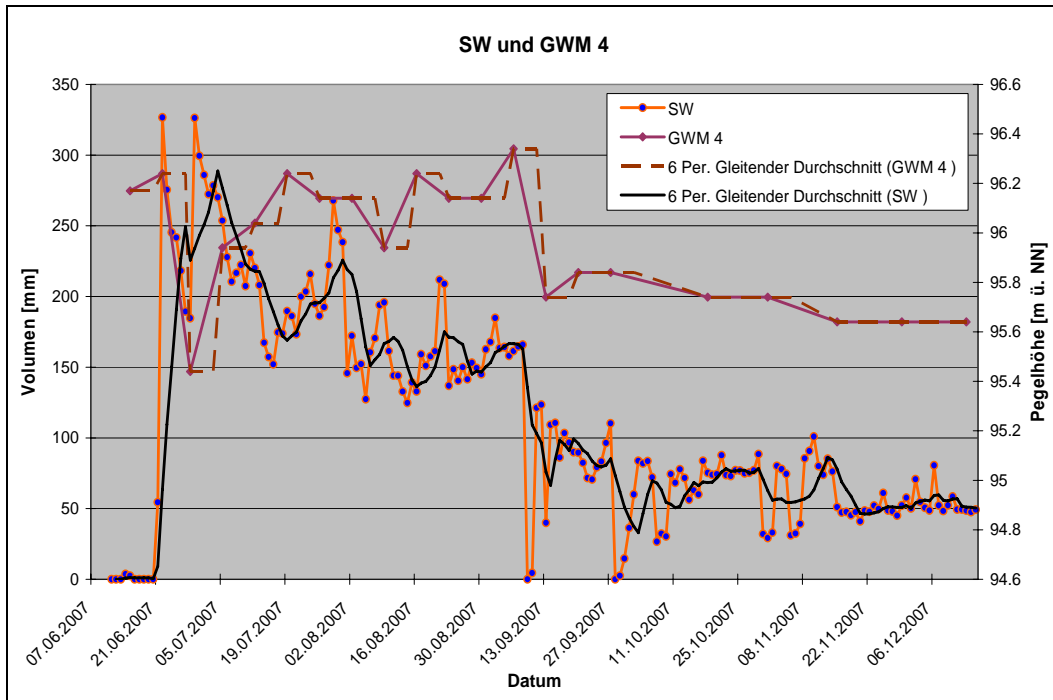


Abbildung D. 4: Verlauf von SW und GWM 4, sowie deren gleitende Mittel.

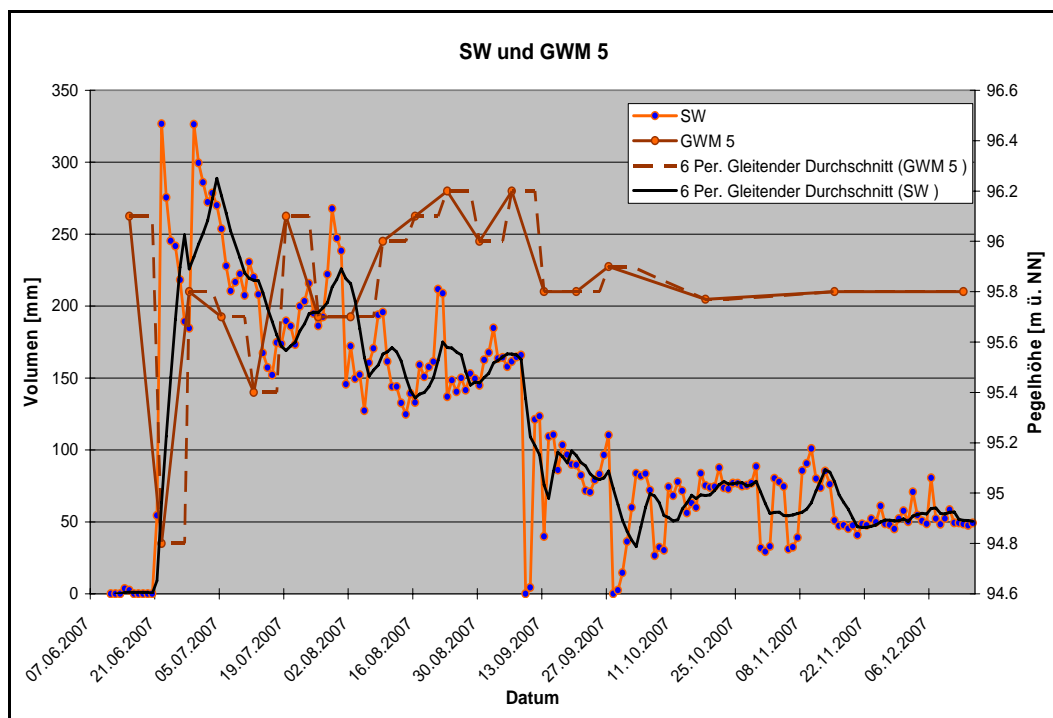


Abbildung D. 5: Verlauf von SW und GWM 5, sowie deren gleitende Mittel.

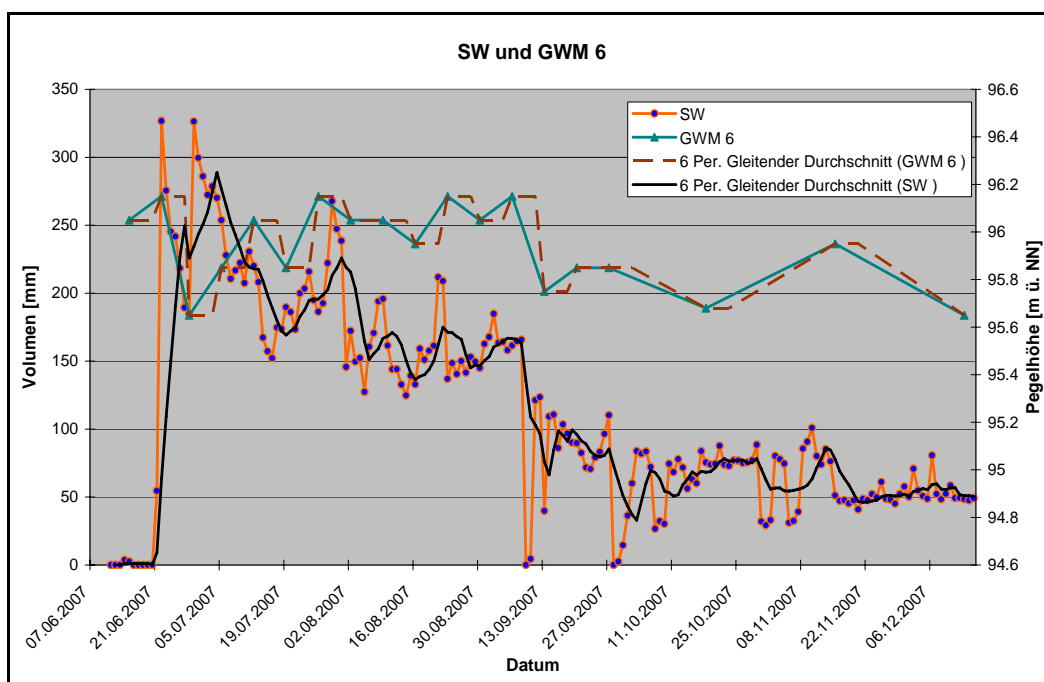


Abbildung D. 6: Verlauf von SW und GWM 6, sowie deren gleitende Mittel.

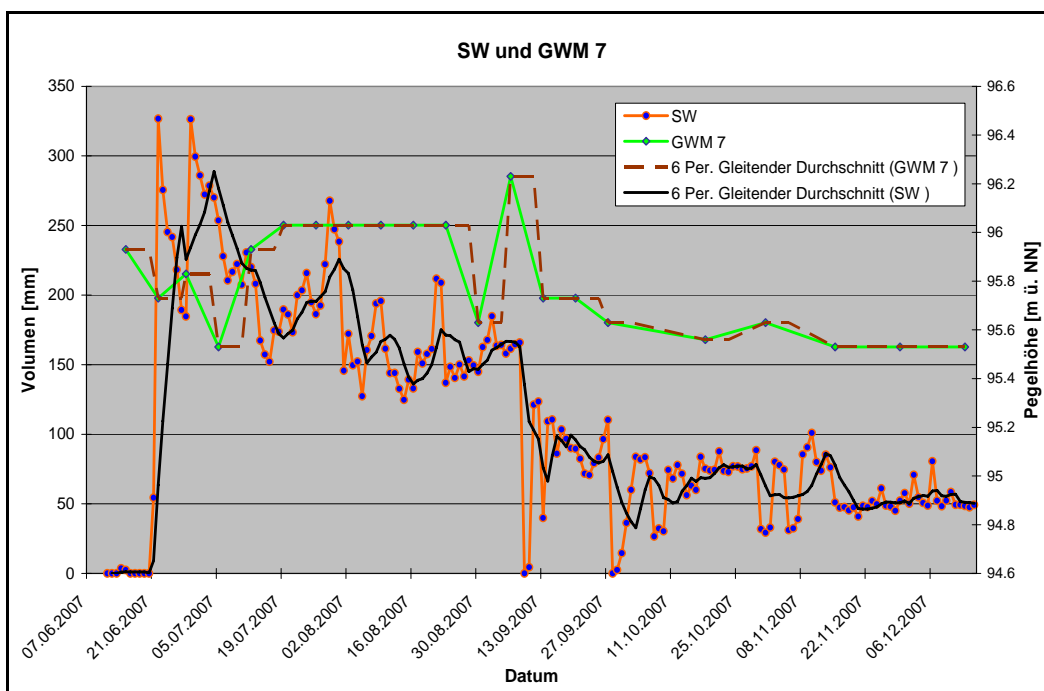


Abbildung D. 7: Verlauf von SW und GWM 7, sowie deren gleitende Mittel.

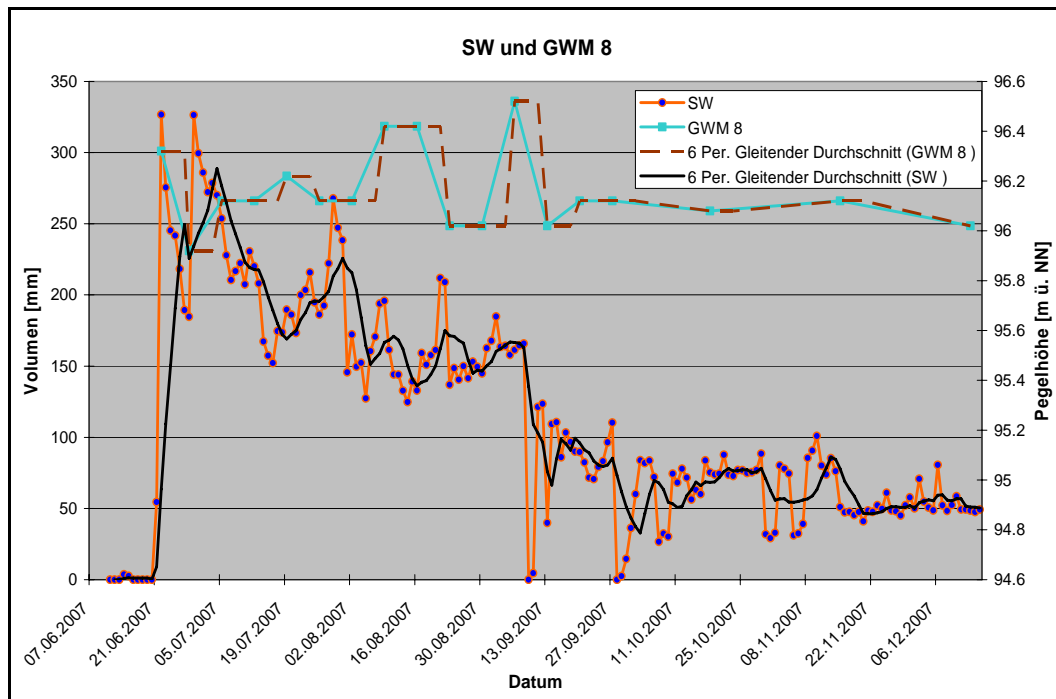


Abbildung D. 8: Verlauf von SW und GWM 8, sowie deren gleitende Mittel.

Tabelle D. 4: Grundlagewerte für die Transsekte (GWM nach STORA ENSO, 2009).

| Werte für Transsekte   |            |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Alle Werte in m ü. NN. |            |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Datum                  | Tagespegel | GWM 1 | GWM 2 | GWM 3 | GWM 4 | GWM 5 | GWM 6 | GWM 7 | GWM 8 |
| 15.06.2007             | 96.28      |       |       | 96.28 | 96.17 | 96.1  | 96.05 | 95.93 |       |
| 22.06.2007             | 96.24      | 95.45 | 95.84 |       | 96.24 | 94.8  | 96.15 | 95.73 | 96.32 |
| 28.06.2007             | 96.18      |       |       |       | 95.44 | 95.8  | 95.65 | 95.83 | 95.92 |
| 05.07.2007             | 96.2       | 95.55 | 95.54 | 95.91 | 95.94 | 95.7  | 95.85 | 95.53 | 96.12 |
| 12.07.2007             | 96.23      | 95.75 | 95.94 | 96.21 | 96.04 | 95.4  | 96.05 | 95.93 | 96.12 |
| 19.07.2007             | 96.26      | 96.05 | 96.14 | 96.41 | 96.24 | 96.1  | 95.85 | 96.03 | 96.22 |
| 26.07.2007             | 96.23      | 96.15 | 95.84 | 95.91 | 96.14 | 95.7  | 96.15 | 96.03 | 96.12 |
| 02.08.2007             | 96.18      | 95.85 | 95.94 | 96.31 | 96.14 | 95.7  | 96.05 | 96.03 | 96.12 |
| 09.08.2007             | 96.31      | 95.55 | 95.94 | 96.31 | 95.94 | 96    | 96.05 | 96.03 | 96.42 |
| 16.08.2007             | 96.25      | 96.05 | 96.04 | 96.01 | 96.24 | 96.1  | 95.95 | 96.03 | 96.42 |
| 23.08.2007             | 96.24      | 95.95 | 96.04 | 96.51 | 96.14 | 96.2  | 96.15 | 96.03 | 96.02 |
| 30.08.2007             | 96.21      | 96.05 | 96.04 | 96.01 | 96.14 | 96    | 96.05 | 95.63 | 96.02 |
| 06.09.2007             | 96.28      | 96.15 | 96.24 | 96.41 | 96.34 | 96.2  | 96.15 | 96.23 | 96.52 |
| 13.09.2007             | 95.75      | 95.65 | 95.64 | 95.91 | 95.74 | 95.8  | 95.75 | 95.73 | 96.02 |
| 20.09.2007             | 95.85      | 95.65 | 95.64 | 95.91 | 95.84 | 95.8  | 95.85 | 95.73 | 96.12 |
| 27.09.2007             | 95.66      | 95.65 | 95.74 | 95.91 | 95.84 | 95.9  | 95.85 | 95.63 | 96.12 |
| 18.10.2007             | 95.84      | 95.57 | 95.61 | 95.86 | 95.74 | 95.77 | 95.68 | 95.56 | 96.08 |
| 31.10.2007             | 95.86      |       |       |       | 95.74 |       |       | 95.63 |       |
| 15.11.2007             | 95.77      | 95.65 | 95.64 | 95.81 | 95.64 | 95.8  | 95.95 | 95.53 | 96.12 |
| 29.11.2007             | 95.77      |       |       |       | 95.64 |       |       | 95.53 |       |
| 13.12.2007             | 95.78      | 95.55 | 95.54 | 95.84 | 95.64 | 95.8  | 95.65 | 95.53 | 96.02 |
| Hochflutlehm Oberkante |            | 94.55 | 94.64 | 94.81 | 95.14 | 93.5  | 96.35 | 96.13 | 95.22 |
| Hochflutlehm Basis :   |            | 93.15 | 93.64 | 93.61 | 93.04 | 92.8  | 92.75 | 92.83 | 92.72 |

**Tabelle D. 5: Atrazinwerte aller GWM (nach STORA ENSO, 2009).**

| Atrazin   |               |               |               |               |               |               |               |               |
|---|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Atrazin µg/l<br>Wurde die Nachweisgrenze von 0,05 µg/l unterschritten, so ist der Wert 0 eingesetzt worden. |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Datum   | Atrazin-GWM 1 | Atrazin-GWM 2 | Atrazin-GWM 3 | Atrazin-GWM 4 | Atrazin-GWM 5 | Atrazin-GWM 6 | Atrazin-GWM 7 | Atrazin-GWM 8 |
| 15.06.2007  |               |               | 0             | 0.00          | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 22.06.2007  | 0             | 0             |               | 0.00          | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 28.06.2007  |               |               |               | 0.00          | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 05.07.2007  | 0.055         | 0             | 0             | 0.00          | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 12.07.2007  | 0.05          | 0.08          | 0             | 0.25          | 0             | 0             | 0.05          | 0             |
| 19.07.2007  | 0.06          | 0             | 0             | 0.80          | 0             | 0             | 0.05          | 0             |
| 26.07.2007  | 0.09          | 0.07          | 0.06          | 0.10          | 0             | 0             | 0.07          | 0             |
| 02.08.2007  | 0             | 0             | 0             | 0.06          | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 09.08.2007  | 0.05          | 0             | 0             | 0.20          | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 16.08.2007  | 0.06          | 0.19          | 0.06          | 0.00          | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 23.08.2007  | 0             | 0             | 0             | 0.05          | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 30.08.2007  | 0             | 0             | 0             | 0.08          | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 06.09.2007  | 0             | 0             | 0             | 0.05          | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 13.09.2007  | 0             | 0             | 0             | 0.07          | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 20.09.2007  | 0.07          | 0.08          | 0.06          | 0.16          | 0             | 0             | 0.05          | 0             |
| 27.09.2007  | 0             | 0             | 0             | 0.06          | 0             | 0             | 0             | 0             |
| 18.10.2007  | 0.05          | 0             | 0             | 0.07          | 0             | 0.055         | 0             |               |
| 31.10.2007  |               |               |               | 0.00          |               |               | 0             |               |
| 15.11.2007  | 0.05          | 0.05          | 0.05          | 0.06          | 0             | 0.065         | 0             |               |
| 29.11.2007  |               |               |               | 0.00          |               |               | 0             |               |
| 13.12.2007  | 0.06          | 0.05          | 0             | 0.06          | 0             | 0.075         | 0             |               |

**Tabelle D. 6: TOC Werte aller GWM und des BW (nach STORA ENSO, 2009).**

| TOC         |           |           |           |           |           |           |           |           |        |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| TOC in mg/l |           |           |           |           |           |           |           |           |        |
| Datum       | TOC-GWM 1 | TOC-GWM 2 | TOC-GWM 3 | TOC-GWM 4 | TOC-GWM 5 | TOC-GWM 6 | TOC-GWM 7 | TOC-GWM 8 | TOC-BW |
| 15.06.2007  |           |           | 1.1       | 1.6       | 2.4       | 1.6       | 1.6       | 1.4       |        |
| 22.06.2007  | 0.76      | 1         |           | 1         | 2         | 1.2       | 1.4       | 1         | 67.5   |
| 28.06.2007  |           |           |           | 3.9       | 2.2       | 1.1       | 1.2       | 1         | 35.2   |
| 05.07.2007  | 1.1       | 1.1       | 0.28      | 3         | 2.1       | 1.1       | 1.2       | 0.84      | 16.5   |
| 12.07.2007  | 1.1       | 1.3       | 1.3       | 3.2       | 2.5       | 1.3       | 0.84      | 1         | 10     |
| 19.07.2007  | 1.8       | 1.9       | 1.6       | 4.3       | 3         | 2.1       | 1.2       | 1.4       | 13.8   |
| 26.07.2007  | 1.1       | 1.3       | 1.2       | 2.7       | 2.1       | 1.4       | 1.3       | 1.1       | 7.1    |
| 02.08.2007  | 1.7       | 2.5       | 1.5       | 2.5       | 2.2       | 1.4       | 0.68      | 0.74      | 6.4    |
| 09.08.2007  | 1.2       | 2.1       | 2.4       | 2.8       | 2.5       | 1.7       | 1.1       | 1         | 9.5    |
| 16.08.2007  | 1.4       | 2.7       | 2.4       | 3.7       | 3         | 1.8       | 0.9       | 1.1       | 5.6    |
| 23.08.2007  | 1.4       | 2.2       | 1.9       | 3         | 2.5       | 2         | 0.97      | 0.97      | 5.8    |
| 30.08.2007  | 1.7       | 2.4       | 2         | 2.8       | 2.2       | 1.7       | 1         | 1.1       | 7.3    |
| 06.09.2007  | 1.7       | 2.5       | 2.2       | 2.5       | 2.8       | 2         | 1.7       | 9.4       | 4.8    |
| 13.09.2007  | 2.1       | 2.8       | 2.1       | 3.1       | 2.6       | 2.6       | 1         | 5.2       | 8      |
| 20.09.2007  | 2.1       | 3.2       | 2.2       | 3         | 2.7       | 2.5       | 0.96      | 5.2       | 7.5    |
| 27.09.2007  | 2.2       | 3.2       | 1.9       | 3.1       | 2.1       | 1.4       | 0.9       | 0.7       | 5.8    |
| 18.10.2007  | 1.8       | 2.4       | 1.9       | 2.3       | 2.2       | 2.5       | 0.73      | 2.2       | 7.9    |
| 31.10.2007  |           |           |           | 2.2       |           |           | 0.78      |           | 5.9    |
| 15.11.2007  | 1.5       | 2.4       | 1.7       | 2         | 2         | 1.4       | 0.83      | 0.74      |        |
| 29.11.2007  |           |           |           | 2.1       |           |           | 0.89      |           |        |
| 13.12.2007  | 1.6       | 2.4       | 2.2       | 2.5       | 2.5       | 1.3       | 1.3       | 2.3       |        |

**Tabelle D. 7: DOC Werte aller GWM und des BW (nach STORA ENSO, 2009).**

| DOC         |           |           |           |           |           |           |           |           |        |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| DOC in mg/l |           |           |           |           |           |           |           |           |        |
| Datum       | DOC-GWM 1 | DOC-GWM 2 | DOC-GWM 3 | DOC-GWM 4 | DOC-GWM 5 | DOC-GWM 6 | DOC-GWM 7 | DOC-GWM 8 | DOC-BW |
| 15.06.2007  |           |           | 1.10      | 1.4       | 2.1       | 1.3       | 1.4       | 1.1       |        |
| 22.06.2007  | 0.72      | 0.93      |           | 0.95      | 2         | 1.1       | 1.3       | 0.83      | 60.5   |
| 28.06.2007  |           |           |           | 3.3       | 2         | 1.1       | 1.2       | 0.83      | 30.6   |
| 05.07.2007  | 0.72      | 1         | 0.30      | 1.9       | 1.9       | 1.1       | 1.1       | 0.77      | 15.9   |
| 12.07.2007  | 0.93      | 1.2       | 1.30      | 3.2       | 2.3       | 1.2       | 0.8       | 0.97      | 9.8    |
| 19.07.2007  | 1.6       | 1.6       | 1.50      | 4.2       | 2.8       | 1.8       | 1.2       | 1.1       | 13.8   |
| 26.07.2007  | 1         | 1.1       | 1.10      | 2.5       | 2         | 1.3       | 1.2       | 1         | 7      |
| 02.08.2007  | 1.5       | 2.2       | 1.40      | 1.3       | 2         | 1.3       | 0.68      | 0.64      | 6.2    |
| 09.08.2007  | 1.2       | 1.8       | 1.90      | 2.4       | 2.3       | 1.5       | 0.73      | 0.65      | 8.9    |
| 16.08.2007  | 1.1       | 2.6       | 1.80      | 3.4       | 2.1       | 1.4       | 0.9       | 0.59      | 5.6    |
| 23.08.2007  | 1.3       | 2         | 1.90      | 2.6       | 2.1       | 1.4       | 0.79      | 0.87      | 5.5    |
| 30.08.2007  | 1.4       | 2.2       | 1.80      | 2.5       | 2.1       | 1.2       | 0.76      | 0.48      | 5.7    |
| 06.09.2007  | 1.5       | 2.4       | 2.20      | 2.5       | 2.6       | 1.3       | 0.94      | 1         | 4.8    |
| 13.09.2007  | 1.8       | 2.6       | 2.00      | 3         | 2.1       | 1.7       | 0.76      | 0.94      | 6.9    |
| 20.09.2007  | 2         | 2.5       | 1.90      | 2.5       | 1.9       | 1.3       | 0.91      | 0.52      | 6.9    |
| 27.09.2007  | 2.2       | 3.1       | 1.90      | 2.7       | 2.1       | 1.3       | 0.7       | 0.6       | 5.5    |

**Tabelle D. 8: pH-Werte aller GWM und des BW (nach STORA ENSO, 2009).**

| pH-Wert    |      |       |       |       |       |       |       |       |      |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Datum      | GWM1 | GWM 2 | GWM 3 | GWM 4 | GWM 5 | GWM 6 | GWM 7 | GWM 8 | BW   |
| 15.06.2007 |      |       | 6.9   | 7     | 7     | 6.8   | 6.7   | 6.7   |      |
| 22.06.2007 | 7    | 6.9   |       | 7     | 7     | 6.8   | 6.5   | 6.7   | 7.3  |
| 28.06.2007 |      |       |       | 7.1   | 6.9   | 7.1   | 6.6   | 6.8   | 7.4  |
| 05.07.2007 | 6.7  | 6.8   | 6.8   | 6.8   | 6.8   | 6.7   | 6.5   | 6.7   | 7.1  |
| 12.07.2007 | 6.8  | 6.9   | 6.8   | 6.9   | 6.9   | 6.6   | 6.4   | 6.8   | 7.2  |
| 19.07.2007 | 7.3  | 7.17  | 7.06  | 7.11  | 7.1   | 6.8   | 6.65  | 7     | 7.4  |
| 26.07.2007 | 6.9  | 7     | 6.8   | 7.1   | 7     | 6.9   | 6.5   | 6.8   | 7.6  |
| 02.08.2007 | 6.6  | 6.9   | 6.6   | 7     | 6.9   | 6.6   | 6.1   | 6.6   | 7.5  |
| 09.08.2007 | 6.5  | 6.8   | 6.6   | 6.9   | 6.8   | 6.5   | 6.04  | 6.5   | 7.2  |
| 16.08.2007 | 6.8  | 7     | 6.8   | 7.2   | 7.1   | 6.7   | 6.2   | 6.9   | 7.2  |
| 23.08.2007 | 6.6  | 6.8   | 6.6   | 7     | 6.9   | 6.6   | 6.2   | 7.1   | 7.3  |
| 30.08.2007 | 6.8  | 6.9   | 6.7   | 7.1   | 7     | 6.7   | 6.3   | 6.8   | 7.4  |
| 06.09.2007 | 6.8  | 7     | 6.6   | 7.1   | 7.1   | 7.6   | 6.5   | 7.1   | 7.2  |
| 13.09.2007 | 7.5  | 6.9   | 6.7   | 7.3   | 7.4   | 6.8   | 6     | 7.1   | 6.7  |
| 20.09.2007 | 6.52 | 7.11  | 6.52  | 7.1   | 7     | 6.89  | 6.16  | 6.9   | 7.9  |
| 27.09.2007 | 6.7  | 6.7   | 6.5   | 7     | 6.9   | 6.6   | 5.9   | 6.5   | 7.2  |
| 18.10.2007 | 6.8  | 6.74  | 6.6   | 7.08  | 7.04  | 6.73  | 6.2   | 6.72  | 8.15 |
| 31.10.2007 |      |       |       | 6.9   |       |       | 6.5   |       | 6.9  |
| 15.11.2007 | 7    | 6.84  | 6.7   | 7.1   | 7.04  | 6.84  | 6.65  | 6.8   | 7.8  |
| 29.11.2007 |      |       |       | 7.13  |       |       | 6.48  |       | 7.8  |
| 13.12.2007 | 6.85 | 7     | 6.8   | 7.3   | 7.2   | 6.9   | 6.6   | 6.7   | 7.8  |

**Tabelle D. 9: Trübungswerte aller GWM und des BW (nach STORA ENSO, 2009).**

| Trübung        |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Trübung in FNU |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
| Datum          | GWM 1 | GWM 2 | GWM 3 | GWM 4 | GWM 5 | GWM 6 | GWM 7 | GWM 8 | BW   |
| 15.06.2007     |       |       | 100   | 12    | 67    | 65    | 160   | 60    |      |
| 22.06.2007     | 127   | 135   |       | 9.6   | 362   | 48    | 163   | 109   | 28   |
| 28.06.2007     |       |       |       | 26    | 7.7   | 38    | 23    | 55    | 11.3 |
| 05.07.2007     | 39    | 38    | 34    | 72    | 56    | 60    | 98    | 72    | 11   |
| 12.07.2007     | 23    | 46    | 37    | 31    | 60    | 61    | 68    | 65    | 5.7  |
| 19.07.2007     | 6.4   | 37.1  | 52.3  | 26.3  | 67.7  | 67.7  | 101   | 65.9  | 2.8  |
| 26.07.2007     | 12.6  | 37.4  | 68.3  | 22.4  | 86.5  | 38    | 63.8  | 92.6  | 1.82 |
| 02.08.2007     | 11    | 24    | 35    | 19    | 65    | 56    | 25    | 67    | 1.4  |
| 09.08.2007     | 3.6   | 20    | 29    | 5.5   | 60    | 49    | 79    | 63    | 1.7  |
| 16.08.2007     | 6.8   | 22.8  | 16.5  | 21.2  | 47.7  | 54.7  | 38.2  | 47.6  | 1.9  |
| 23.08.2007     | 5.2   | 18.7  | 10.5  | 5.1   | 114   | 143   | 86.8  | 168   | 2.5  |
| 30.08.2007     | 4.5   | 23    | 18    | 14    | 36    | 47    | 37    | 58    | 2.9  |
| 06.09.2007     | 5.7   | 5.8   | 23    | 4     | 59    | 27    | 50    | 67    | 1.3  |
| 13.09.2007     | 14    | 6.5   | 8.7   | 20    | 40    | 44    | 19    | 110   | 3.1  |
| 20.09.2007     | 3.8   | 5.4   | 41    | 29    | 58    | 41    | 43    | 90    | 2.4  |
| 27.09.2007     | 23    | 6.5   | 20    | 23    | 50    | 27    | 8     | 75    | 2    |
| 18.10.2007     | 0.37  | 0.48  | 1.1   | 0.81  | 15    | 54    | 20    | 93    |      |
| 31.10.2007     |       |       |       |       |       |       | 44.3  |       |      |
| 15.11.2007     | 2.5   | 15    | 31    | 19.7  | 60    | 41    | 16    | 77    |      |
| 29.11.2007     |       |       |       |       |       |       | 9.2   |       |      |
| 13.12.2007     | 8.7   | 11    | 35    | 12    | 39    | 30    | 11    | 79    |      |

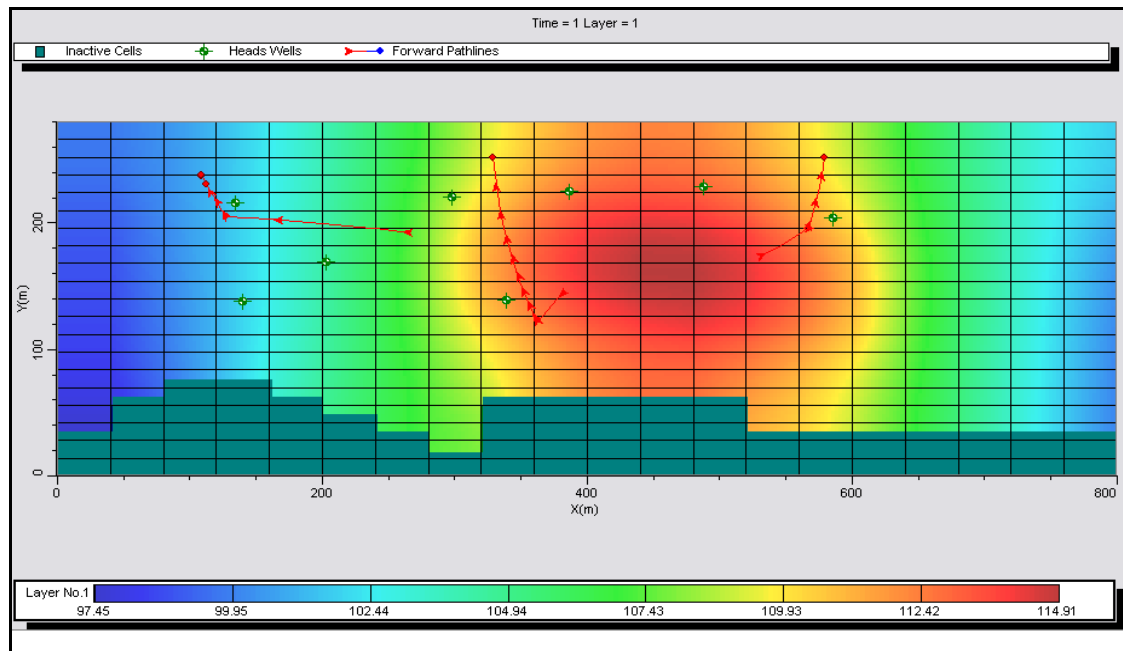
**Tabelle D. 10: Leitfähigkeitswerte aller GWM und des BW (nach STORA ENSO, 2009).**

| Leitfähigkeit                            |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Leitfähigkeit in $\mu\text{S}/\text{cm}$ |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
| Datum                                    | GWM 1 | GWM 2 | GWM 3 | GWM 4 | GWM 5 | GWM 6 | GWM 7 | GWM 8 | BW  |
| 15.06.2007                               |       |       | 516   | 474   | 478   | 457   | 369   | 437   |     |
| 22.06.2007                               | 470   | 570   |       | 474   | 473   | 457   | 357   | 423   | 809 |
| 28.06.2007                               |       |       |       | 605   | 469   | 462   | 360   | 430   | 523 |
| 05.07.2007                               | 467   | 565   | 533   | 533   | 471   | 451   | 355   | 429   | 515 |
| 12.07.2007                               | 488   | 618   | 578   | 662   | 471   | 450   | 391   | 437   | 408 |
| 19.07.2007                               | 570   | 662   | 566   | 610   | 475   | 446   | 374   | 422   | 417 |
| 26.07.2007                               | 530   | 640   | 551   | 577   | 468   | 457   | 359   | 416   | 417 |
| 02.08.2007                               | 532   | 648   | 546   | 598   | 472   | 437   | 342   | 411   | 372 |
| 09.08.2007                               | 488   | 642   | 564   | 564   | 474   | 439   | 336   | 414   | 452 |
| 16.08.2007                               | 490   | 649   | 580   | 521   | 476   | 436   | 300   | 418   | 384 |
| 23.08.2007                               | 495   | 638   | 567   | 557   | 480   | 433   | 292   | 416   | 316 |
| 30.08.2007                               | 490   | 620   | 572   | 566   | 490   | 433   | 276   | 418   | 382 |
| 06.09.2007                               | 521   | 607   | 564   | 485   | 491   | 429   | 265   | 416   | 380 |
| 13.09.2007                               | 498   | 592   | 560   | 539   | 564   | 427   | 271   | 408   | 447 |
| 20.09.2007                               | 483   | 577   | 551   | 571   | 530   | 431   | 265   | 405   | 501 |
| 27.09.2007                               | 490   | 589   | 554   | 543   | 509   | 432   | 286   | 407   | 454 |
| 18.10.2007                               | 486   | 561   | 505   | 530   | 601   | 429   | 309   | 407   | 457 |
| 31.10.2007                               |       |       |       | 520   |       |       | 322   |       | 445 |
| 15.11.2007                               | 465   | 532   | 487   | 487   | 644   | 407   | 339   | 398   |     |
| 29.11.2007                               |       |       |       | 516   |       |       | 317   |       |     |
| 13.12.2007                               | 497   | 547   | 473   | 529   | 729   | 429   | 313   | 366   |     |



**Tabelle D. 11: Wassertemperatur aller GWM und des BW (nach STORA ENSO, 2009).**

| Wassertemperatur       |         |         |         |         |         |         |         |         |      |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------|
| Wassertemperatur in °C |         |         |         |         |         |         |         |         |      |
| Datum                  | T-GWM 1 | T-GWM 2 | T-GWM 3 | T-GWM 4 | T-GWM 5 | T-GWM 6 | T-GWM 7 | T-GWM 8 | BW   |
| 15.06.2007             |         |         | 15      | 15.4    | 12.8    | 13.9    | 14      | 14.4    |      |
| 22.06.2007             | 12.2    | 11.2    |         | 13      | 12      | 11.1    | 11.7    | 12.2    | 17.2 |
| 28.06.2007             |         |         |         | 13      | 11.8    | 11.7    | 11.9    | 11.8    | 14   |
| 05.07.2007             | 12.5    | 11.6    | 11.9    | 12.9    | 12      | 11.9    | 12.1    | 12.2    | 14   |
| 12.07.2007             | 11.4    | 12.4    | 11.8    | 13.3    | 12.3    | 12.2    | 11.8    | 12.5    | 13.8 |
| 19.07.2007             | 13.1    | 13      | 13      | 15.5    | 13.7    | 13      | 14      | 14      | 17.4 |
| 26.07.2007             | 13      | 12      | 12.7    | 14.4    | 12.5    | 14.2    | 13.5    | 13      | 16.1 |
| 02.08.2007             | 12.1    | 11.8    | 12      | 15      | 12.1    | 11.9    | 14.2    | 12.8    | 14   |
| 09.08.2007             | 11.5    | 11.8    | 12.1    | 14.2    | 12      | 12      | 14.7    | 12.8    | 15.4 |
| 16.08.2007             | 12.2    | 13.1    | 12.7    | 15.2    | 12.2    | 12.2    | 14.7    | 12.8    | 15.8 |
| 23.08.2007             | 12.3    | 12.9    | 12.8    | 16.1    | 12.5    | 12.7    | 15      | 13.3    | 15.7 |
| 30.08.2007             | 12.2    | 13      | 12.8    | 15.4    | 12.3    | 12.2    | 15.5    | 13.1    | 14.2 |
| 06.09.2007             | 13.2    | 12.8    | 13      | 14.8    | 12.1    | 11.9    | 15      | 12.7    | 12.9 |
| 13.09.2007             | 12.9    | 13.1    | 13.1    | 14.7    | 12.1    | 11.8    | 14.9    | 13.1    | 13.5 |
| 20.09.2007             | 12.9    | 12.1    | 12.8    | 14.8    | 12.5    | 12      | 14.8    | 13.5    | 12.6 |
| 27.09.2007             | 12.9    | 13.1    | 13.4    | 14.3    | 11.9    | 11.8    | 14.6    | 13      | 11.7 |
| 18.10.2007             | 13.1    | 13.2    | 13.8    | 13.8    | 12.3    | 12      | 14.2    | 13.4    | 10.7 |
| 31.10.2007             |         |         |         | 11.9    |         |         | 12.5    |         | 7.1  |
| 15.11.2007             | 12.8    | 12.6    | 12.3    | 12.3    | 11.8    | 11.3    | 11.8    | 12.2    |      |
| 29.11.2007             |         |         |         | 12      |         |         | 12.8    |         |      |
| 13.12.2007             | 11.6    | 12.3    | 12.6    | 11.3    | 12.1    | 11.2    | 12.2    | 12      |      |



**Abbildung D. 9: Darstellung der Grundwasserhöhen bei einem vollkommen gespannten Aquifer in Ly 3 und einer auf 52 mm/d erhöhten GWNB auf der berechneten Fläche.**

**Tabelle D. 12: Berechnung der möglichen Durchflussmengen des Ufers und des Untersuchungsgeländes mit einem Vergleich mit den SW.**

**DARCY:**       $k_f \cdot A \cdot I = Q$

A= Fläche [m²]  
I = Gefälle  
Q = Durchfluss [m³/s]

Beregnete Teilfläche: 200 \*90 m = 18000 m²  
SW auf beregneter Teilfläche: 50 mm  
Mächtigkeit der durchströmten Auffüllschicht : 0.8 m  
Länge des Ufers am Untersuchungsgelände : 800 m  
Breite des durchflossenen Untersuchungsgeländes : 280 m  
durchschnittlich beobachtetes Gefälle vom See zum Untersuchungsgelände : 0.1  
durchschnittlich beobachtetes Gefälle im Untersuchungsgelände:  
0.04

|                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| <b>Summe der SW pro Tag</b>          |  |
| 18000 m² * 100 mm = <b>1800 m³/d</b> |  |

| <b>Zustrom See</b>   |          |          |          |
|----------------------|----------|----------|----------|
| <b>k<sub>f</sub></b> | <b>A</b> | <b>I</b> | <b>Q</b> |
| 1 E-4                | 640      | 0.1      | 6.4*E-3  |

| <b>Abstrom im Gelände</b> |          |          |          |               |
|---------------------------|----------|----------|----------|---------------|
| <b>k<sub>f</sub></b>      | <b>A</b> | <b>I</b> | <b>Q</b> | <b>Q m³/d</b> |
| 1 E-4                     | 224      | 0.04     | 8.84*E-4 | <b>76.34</b>  |

**Q Zustrom ist um das 8-fache größer als Q Abstrom**  
**SW pro Tag liegen um das 23-fache über dem möglichen Abstrom**

## **Ehrenwörtliche Erklärung:**

Hiermit erkläre ich, dass die Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt wurde.

---

Ort, Datum

---

Talida Huwer-Olinger