

Überwachung der Dichtwandkapsel Hamburg-Eidelstedt – Bilanzierung des Wasserhaushalts

Thomas Haupt, Dr. Volker Sokollek

1 Einleitung

Das Industriegebiet Eidelstedt, im Nordwesten Hamburgs zwischen den Stadtteilen Eidelstedt, Stellingen und Bahrenfeld gelegen, ist eines der größten Gewerbegebiete der Hansestadt Hamburg. Es liegt in der Schutzzone 3 des geplanten Wasserschutzgebietes Stellingen. Zur Sicherung der Altlasten in einem Teilbereich südlich der Ottensener Straße in Hamburg-Eidelstedt wurde eine Dichtwandkapsel in dem ersten Grundwasserleiter errichtet (Abb. 1). Zum Betrieb der Dichtwandkapsel wurde eine Grundwasserentnahme konzipiert, deren Wirksamkeit im Rahmen der Überwachung überprüft wurde. Dabei hat sich gezeigt, dass die Bilanzierung des Wasserhaushalts der Kapsel ein wichtiges Instrument der Überwachung in der Nachsorgephase ist.

2 Standortbeschreibung

Von Anfang bis Mitte der 50er-Jahre des 20. Jahrhunderts war an der Ottensener Straße eine Dachpappenfabrik ansässig. Die Produktion und Verarbeitung von Teerölen und Bitumen sowie Kriegsschäden führten zu erheblichen Boden- und Grundwasserverunreinigungen mit aromatischen Schadstoffen, insbesondere BTEX und PAK inkl. Naphthalin. Südlich der Dachpappenfabrik wurde nach dem 2. Weltkrieg eine Sandgrube (Dose-Fläche) unkontrolliert mit Müll, Schutt und Industrieabfällen verfüllt. Auf der insgesamt etwa 8,3 ha großen Fläche der Kapsel zwischen Ottensener Straße, Schnackenburgallee und Sandgrube befinden sich in Boden und Grundwasser rund 8,6 Tonnen giftige Schadstoffe, davon allein 0,86 Tonnen PAK und 0,85 Tonnen Naphthalin.

Die festgestellten Bodenbelastungen gefährden in erster Linie das Schutzgut Grundwasser, da schützende Bodenschichten zwischen den Schadstoffherden und dem Grundwasserleiter fehlen. Die Bodenkontamination erstreckt sich bis ca. 18 m u. GOK, der Grundwasserstand liegt bei etwa 8 m u. GOK.



Abb. 1: Luftbild vom Industriegebiet Eidelstedt südlich der S-Bahnlinie Hamb.-Altona – Pinneberg mit Verlauf der Dichtwand

Durch den Eintrag von Schadstoffen mit versickerndem Niederschlagswasser und durch Elution von Schadstoffen aus der wassergesättigten Zone ist das Grundwasser massiv belastet. Wasserproben aus Grundwassermessstellen im Abstrom der Schadensbereiche an der Ottensener Straße zeigen BTEX-Belastungen mit mehr als 1.500 µg/l und Naphthalin-Konzentrationen mit mehr als 10.000 µg/l. Von diesen Schadensbereichen ausgehend hat sich eine etwa 900 m lange Aromatenfahne ausgebildet, die sich in Richtung der Förderbrunnen des Wasserwerks Stellingen bewegt. In der Ausbreitungsrichtung liegen Fehlstellen in der Aquifersohle, so dass ein hydraulischer Kontakt zu tieferen Grundwasserstockwerken möglich ist.

3 Sanierungskonzept

Aufgrund des massiven Grundwasserschadens und des zu erwartenden weiteren Schadstoffaustrages aus dem verunreinigten Bereich wurden verschiedene Sanierungsvarianten geprüft. Die Bewertung der Varianten ergab folgende Rangfolge:

1. Einkapselung mit Kapselbewirtschaftung:
Bau einer Dichtwand bis in den Geschiebemergel der Aquifersohle, Entnahme und Behandlung von Grundwasser aus der Kapsel.
2. Hydraulische Sicherung:
Bau von Entnahmekäusen entlang der Grundstücksgrenze, Behandlung und Ableitung von kontaminiertem Grundwasser.
3. Bodenaustausch:
Entnahme von kontaminiertem Boden, Behandlung bzw. Deponierung und Wiederverfüllung der Baugrube.

Die Umweltbehörde Hamburg (ab 01.01.2002 Behörde für Umwelt und Gesundheit) hat entschieden, die Variante 1 zu realisieren. Durch den Bau einer Dichtwandkapsel bis in die Aquifersohle kann der Austrag der Schadstoffe aus dem belasteten Bereich wirksam verhindert werden, die Kontaminationen verbleiben allerdings im Untergrund. In ca. 20 bis 25 m Tiefe steht an der Aquifersohle ein Geschiebemergel flächenhaft in ausreichender Mächtigkeit an. Durch eine entsprechend gestaltete Grundwasserhaltung innerhalb der Kapsel kann der hydraulische Gradient so eingestellt werden, dass ein Austritt von Schadstoffen nicht mehr möglich ist. Die im Zuge dieser Grundwasserhaltungsmaßnahme zu reinigenden Wassermengen und die damit verbundenen Kosten bleiben überschaubar, wenn auch eine lange Betriebsdauer zu berücksichtigen ist.

Die Einkapselung mit Kapselbewirtschaftungsanlage wurde von 1998 bis 1999 umgesetzt.

4 Sanierung

4.1 Herstellung der Dichtwand

In den Jahren 1998 und 1999 wurde eine 8,3 ha große Teilfläche vollständig mit einer Dichtwand eingekapselt. Die Sanierungsmaßnahme hatte im November 1998 mit dem Bau eines Testkastens begonnen. Die Hauptmaßnahme mit einer Bauzeit der Dichtwand von

März bis November 1999 konnte einschließlich der Wiederherstellung der Flächen im I. Quartal 2000 abgeschlossen werden.

Die Dichtwand umschließt das südlich des S-Bahnhofes Eidelstedt liegende Gewerbegebiet. Die Trasse folgt im Westen der Schnackenburgsallee, im Norden und Osten der Ottensener Straße und im Süden einer Sackgasse mit der Bezeichnung "Sandgrube". Das eingekapselte Industriegebiet weist insgesamt eine nahezu ebene Geländeoberfläche auf, die von Osten nach Westen leicht von etwa 24 m NN auf 20 m NN abfällt.

Die Herstellung der auch als "Dichtwand Ottensener Straße" bezeichneten Umschließung erfolgte als 0,8 m dicke Schlitzwand im Einphasenverfahren (Abb. 2). Die Länge der Dichtwand beträgt 1.170 m und ihre mittlere Tiefe 24,8 m. Insgesamt wurden rund 29.000 m² Dichtwand gebaut.



Abb. 2: Dichtwandgreifer im Einsatz

Die Schlitzwand wurde im Pilgerschrittverfahren hergestellt. Hierbei war die Länge der einzelnen Lamellen entlang der nördlichen Ottensener Straße sowie am südlichen Rand der Dose-Fläche wegen des Bahndammes bzw. der angrenzenden Bauwerke auf einen Stich begrenzt. In den übrigen Bereichen bestehen die Primärlamellen dagegen in der Regel aus 3 Stichen und die Sekundärlamellen aus einem Stich.

Die Dichtwand bindet in einer Tiefe zwischen 20 m und 30 m in den Grundwasserstauer (Geschiebemergel) ein, so dass die Schadstoffe vollständig eingeschlossen werden. Für die Dichtwand war eine Systemdurchlässigkeit von $K_f \leq 1 \times 10^{-8}$ m/s gefordert. Diese konnte hydraulisch am Schlitzwandtestkasten nachgewiesen werden. Entsprechend den Messergebnissen der Eigenüberwachung, die während des Schlitzwandaushubs sowie zur Einbindetiefe der Dichtwand in den Geschiebemergel erhoben wurden, ist davon auszugehen, dass eine durchgängige und allseitig mehr als 2,0 m in den Basishorizont eingebundene Dichtwand hergestellt wurde.

4.2 Betriebskonzept der Dichtwandkapsel

Zum Sanierungskonzept gehört der Betrieb einer Grundwasserentnahme in der Kapsel, mit der der Wasserstand innerhalb der Dichtwand abgesenkt werden soll. Hierdurch entsteht ein hydraulischer Gradient von außen nach innen. Das Betriebsziel soll in zwei Betriebsphasen mit unterschiedlichen Entnahmeraten erreicht werden:

1. Einstellung des ins Innere der Kapsel gerichteten Gradienten
2. Halten des inneren Wasserstandes dauerhaft unter dem Außenwasserstand.

In der ersten Betriebsphase soll der Wasserspiegel innerhalb der Kapsel unter den außerhalb abgesenkt werden. Nach Modellrechnungen des Geologischen Landesamtes (GLA) wird sich der Wasserstand im Strömungsschatten der Kapsel um ca. 1 – 2 m absenken. Für einen dauerhaft nach innen gerichteten hydraulischen Gradienten ist damit eine Absenkung um mindestens 1,5 m erforderlich. Bei einer Kapselgröße von 83.000 m² und einer effektiven Porosität des Aquifermaterials von 20% sind dies 24.900 m³ Grundwasser. In der ersten Phase sollen mit einer verhältnismäßig hohen Nettoentnahmerate von 6 – 7 m³/h die Wasserstände in kurzer Zeit abgesenkt werden, in der zweiten Phase soll das erreichte Niveau mit einer Förderrate von 2 – 3 m³/h dauerhaft gehalten werden.

Für die Berechnung der Entnahmeraten werden dabei verschiedene Annahmen bezüglich der Einflussgrößen auf den Gesamtwasserhaushalt der Kapsel getroffen (Abb. 3):

- die Grundwasserneubildung wird vom GLA mit etwa 220 mm/a oder 2,0 m³/h im Jahresmittel angegeben.
- Die Aussickerung in den 2. Grundwasserleiter beträgt etwa 0,5 m³/h, bei einer Mächtigkeit des Geschiebemergels von 4 m und einem Kf-Wert von $2 \cdot 10^{-9}$ m/s sowie einem Potentialunterschied zwischen erstem und zweitem Grundwasserleiter von ca. 3 m.
- Die seitliche Zu- und Aussickerung kann in der Anfangsphase aufgrund der sich nahezu aufhebenden Potentialunterschiede im Bereich der Dichtwand (außen höher als innen im Anstrom, innen höher als außen im Abstrom) vernachlässigt werden.

Hieraus ergibt sich ein mittlerer Zufluss zu der Dichtwandkapsel von 1,5 m³/h in der ersten Betriebsphase. Bei einer angenommenen Entnahmerate von 5,3 m³/h aus der Kapsel (6,8 m³/h Nettoförderung + 0,5 m³/h Aussickerung in den 2. GWL – 2,0 m³/h Grundwasserneubildung) sollte der Betriebswasserspiegel nach ca. 6 Monaten erreicht sein.

Für die zweite Betriebsphase mit einem dauerhaft unter dem Außenwasserspiegel liegenden inneren Wasserspiegel gilt:

- Die seitliche Zusickerung beträgt 0,8 m³/h, bei einer Durchlässigkeit der Dichtwand von $1 \cdot 10^{-8}$ m/s und einem mittleren hydraulischen Gradienten von 1,2.
- Die Grundwasserneubildung liegt weiterhin bei 2,0 m³/h im Jahresmittel.
- Die Aussickerung in den 2. Grundwasserleiter beträgt etwa 0,3 m³/h, bei einem reduzierten Potentialunterschied zwischen erstem und zweitem Grundwasserleiter von ca. 1,5 m.

Hieraus ergibt sich ein mittlerer Wassereintrag in die Dichtwandkapsel von 2,5 m³/h in der zweiten Betriebsphase. Der abgesenkte Wasserspiegel soll mit einer reduzierten Entnahmerate von 2 – 3 m³/h dauerhaft gehalten werden.

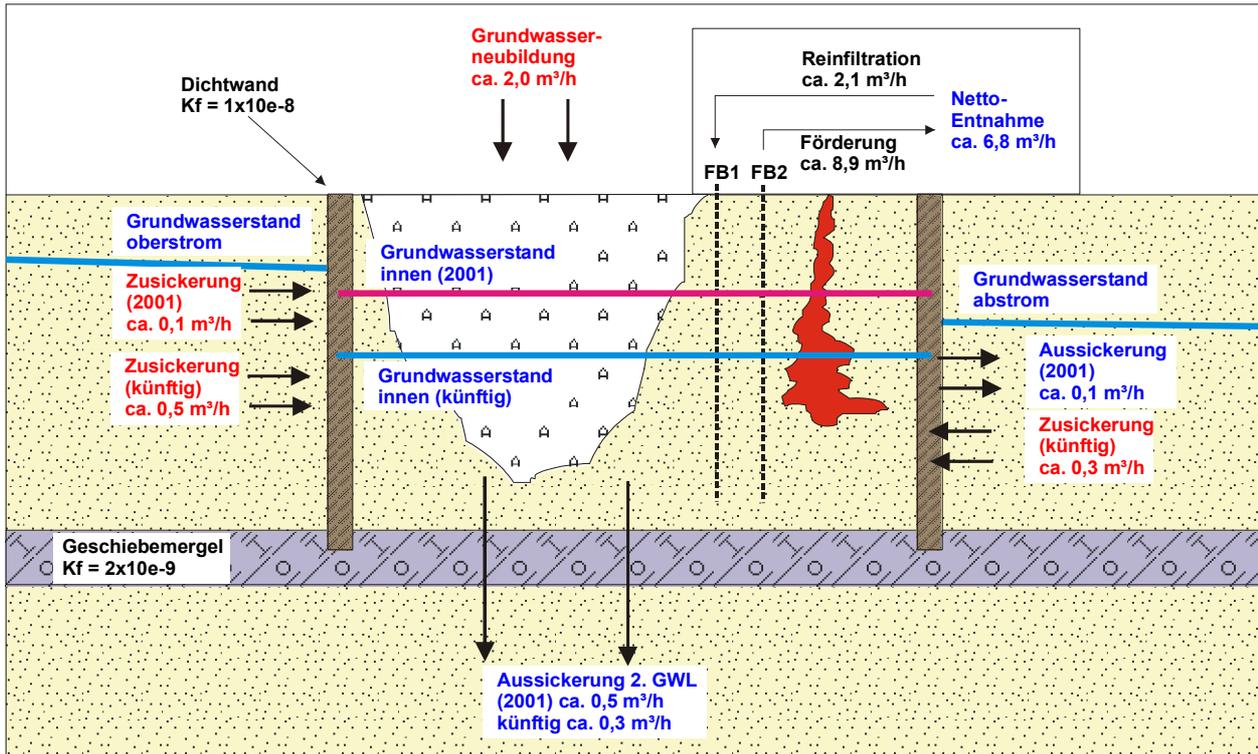


Abb. 3: Schematisierter Schnitt durch die Kapsel mit den Einflussgrößen für den Kapselbetrieb

4.3 Kapselbetrieb

Die Betriebsanlage zur Grundwasserentnahme wurde im Januar 2000 in Betrieb genommen, seit April 2000 wird kontinuierlich Wasser gefördert. Dabei wird mit Hilfe von zwei ca. 24 m tiefen Bewirtschaftungsbrunnen das Wasser dergestalt gefördert, dass sich jeweils ein Brunnen in der Förderphase und ein Brunnen in der Einleitphase befindet. Zur unterirdischen Eisenabscheidung wird dem Einleitwasser ein Oxidationsmittel zugesetzt, das ein Ausfallen des gelösten Eisens im Untergrund bewirkt. Die für die unterirdische Enteisung erforderliche Wassermenge wird aus dem Brunnen in der Förderphase zusätzlich entnommen, so dass die Nettowasserentnahme der für die Kapselbewirtschaftung konzipierten Fördermenge entspricht. Die Förder- und Einleitbrunnen werden im 24-stündigen Wechsel betrieben.

Im Bilanzierungszeitraum für die Wasserhaushaltsberechnung vom 01.04.2000 bis zum 31.03.2001 wurden netto 60.000 m³ Grundwasser aus der Kapsel entnommen. Die seit April 2000 nahezu konstante Förderrate von ca. 6,5 m³/h netto hat bis Ende 2001 eine Entnahme von mehr als 100.000 m³ ergeben (Abb. 4).

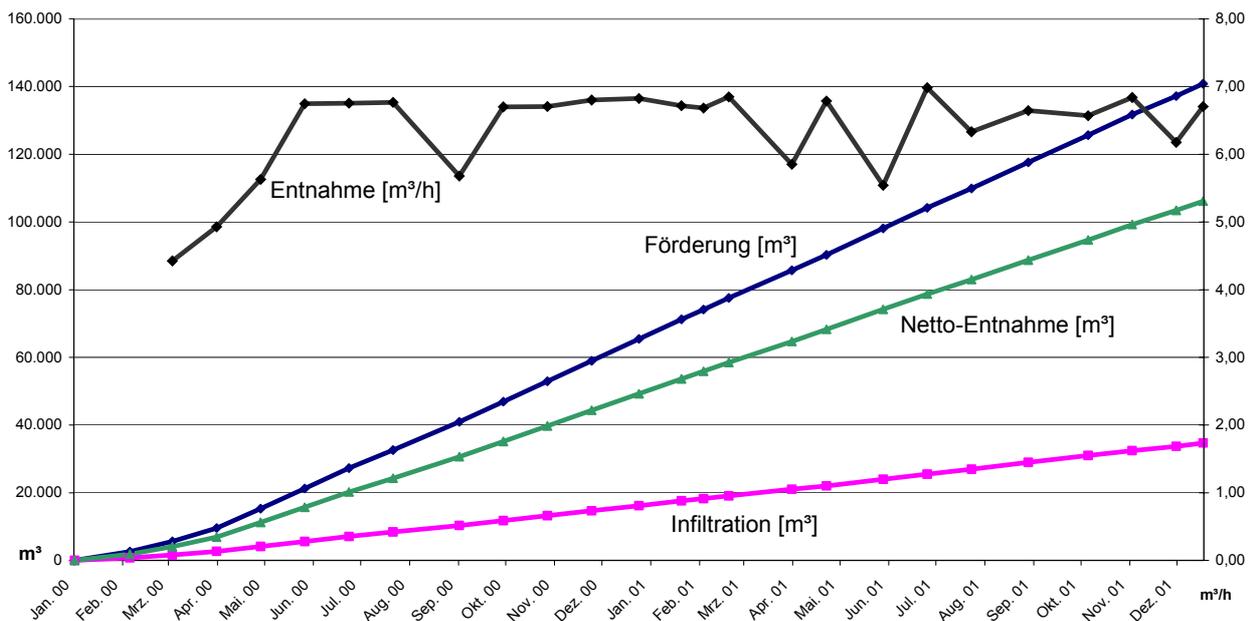


Abb. 4: Darstellung der Kapselbewirtschaftung im Zeitraum 2000 - 2001

5 Eigenkontrolle

5.1 Messprogramm

Um die Umsetzung des Betriebskonzeptes und den Erfolg der Sanierung zu überwachen, wurde ein Grundwassermessprogramm für die Kapsel und ihr Umfeld aufgestellt. Wegen der nur sehr langfristig auf die Kapsel reagierenden Schadstoffbelastung im Grundwasser wurde auf ein kleinräumiges Überwachungsprogramm zur Grundwasserbeschaffenheit verzichtet.

Das Kriterium für den Sanierungserfolg ist ein allseits von außen nach innen in die Kapsel gerichteter hydraulischer Gradient, der ein Austreten von Schadstoffen durch die Dichtwand verhindert. Dementsprechend sieht das Überwachungskonzept die Messung der Grundwasserstände innerhalb und außerhalb der Kapsel vor. Das Konzept ist hierbei zweistufig aufgebaut: 14tägliche Messungen der dichtwandnahen Messstellen (seit Juli 2001 monatlich); 1/4jährlich zusätzliche Messung der Grundwasserstände im weiteren Umfeld der Kapsel. Mit den 14täglichen Messungen werden Grundwasserschwankungen innerhalb und unmittelbar außerhalb der Kapsel genau registriert. Auf der Basis der 1/4jährlichen Messungen werden Grundwassergleichenpläne erstellt, mit denen die Grundwasserentwicklung und die Modellvorhersagen überprüft werden. Sondermessun-

gen z. B. an den noch vorhandenen Brunnen einer ehemaligen Infiltrationsgalerie ergänzen bei Bedarf das Programm.

5.2 Messergebnisse

Mit dem Abschluss der Kapselherstellung ist das Grundwasser innerhalb der Kapsel von dem äußeren isoliert. In 14täglichen Messungen wurde die Entwicklung der Wasserstände beobachtet und mit den Prognosewerten verglichen. Dabei waren mehrere Veränderungen im Gesamtregime prognostiziert worden:

1. Aufstau des Grundwassers im Anstrom der Kapsel um max. 0,5 m
2. Absenkung des Grundwassers im Abstrom der Kapsel um ca. 1,5 m
3. Absenkung des Grundwassers innerhalb der Kapsel unter den Außenwasserspiegel
4. Veränderung der Fließrichtung des Grundwassers durch die Entnahmebrunnen
5. Abkopplung der Grundwasserströmung innerhalb der Kapsel vom Umfeld

Der vorhergesagte Aufstau im Oberstrom der Kapsel war bereits im Januar 2000, wenige Monate nach deren Fertigstellung, erreicht. Der Aufstau fiel mit 0,15 m – 0,25 m genau in den prognostizierten Rahmen. Die Absenkung im unmittelbaren Nahbereich der Kapsel betrug bereits 1,2 m und bestätigte ebenfalls die Modellaussagen.

Die Tendenz zur Erreichung eines einheitlichen Wasserspiegels innerhalb der Kapsel ist zwar ebenfalls im Januar 2000 erkennbar, auf einem Profil innerhalb der Kapsel gleichen sich die Wasserstände von 0,6 m Differenz zu 0,2 m Differenz an. Es zeigt sich jedoch weiterhin ein deutliches Gefälle des Grundwassers von der Anstromseite zur Abstromseite entsprechend dem früheren natürlichen Fließen. Nach Inbetriebnahme der Entnahmebrunnen hat sich ein deutlicher Absenkungstrichter ausgebildet (Abb. 5).

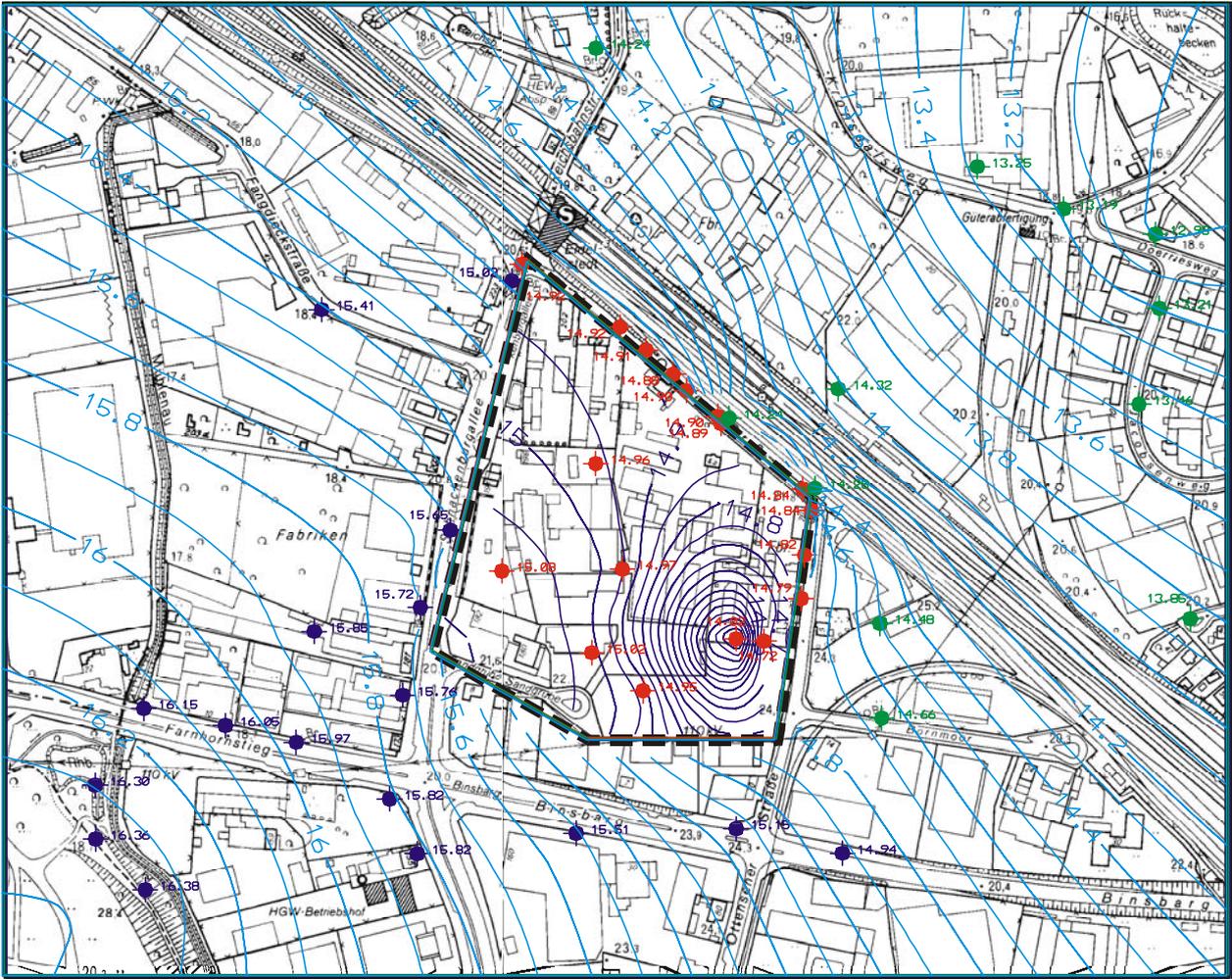


Abb. 5: Grundwassergleichenplan innerhalb und außerhalb der Dichtwandkapsel vom 10. April 2001

Die Absenkung des Grundwassers innerhalb der Kapsel unter den Außenwasserstand hat sich dagegen nicht eingestellt. Nach Ende des ersten Betriebsjahres im April 2001 ist zwar der innere Wasserstand um ca. 0,5 m abgesunken. Zugleich ist aber der äußere Wasserstand sowohl auf der Anstromseite wie auch auf der Abstromseite um 0,3 m abgesunken. Daraus resultiert eine Nettoabsenkung von nur 0,2 m in der Kapsel. Damit ist das Ziel, innerhalb eines Jahres den inneren Wasserstand unter den äußeren abzusinken, nicht erreicht worden. Bei einer Fortsetzung des bisherigen Absenkungstrends ist dies erst in 4 – 5 Jahren zu erwarten (Abb. 6).

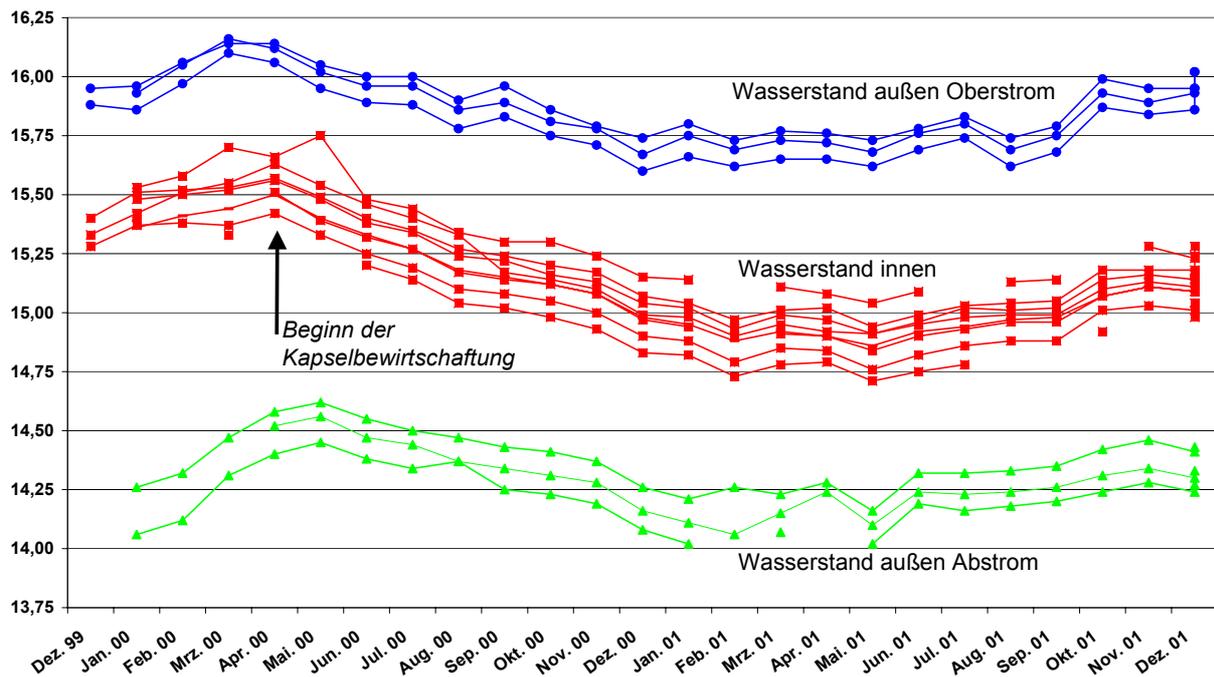


Abb. 6: Ganglinie der Grundwasserstände (m ü. NN) innerhalb und außerhalb der Dichtwandkapsel im Zeitraum Dezember 1999 – Dezember 2001

5.1 Schlussfolgerungen

Nach etwa einem Jahr Betrieb der Grundwasser-Entnahme hat sich gezeigt, dass der Grundwasserstand in der Kapsel deutlich geringer abgesunken ist, als vorhergesagt wurde. Eine mögliche Ursache hierfür könnte eine Grundwasserneubildung sein, die deutlich über den im Modell angenommenen 220 mm/a liegt. Aufgrund der Unsicherheiten bei der durch großräumige Regionalisierung ermittelten Grundwasserneubildung soll zunächst dieser Einflussgröße weiter nachgegangen werden. Hierzu ist im März 2001 das Geographiebüro Augustin (GBA) beauftragt worden, eine detaillierte Ermittlung der Grundwasserneubildung für den Bereich der Dichtwandkapsel aufzustellen.

6 Grundwasserneubildung

6.1 Wasserbilanz

Die Grundwasserneubildung der Kapsel wird über den Wasserhaushalt der Teilflächen des von der Dichtwand eingeschlossenen Industriearials bestimmt. Für jede einzelne Teilfläche berechnet sich die Standortwasserbilanz folgendermaßen:

$$N - ETa - Ako - As \pm \Delta S = 0 \quad [\text{mm} = \text{l/m}^2]$$

mit: N = Niederschlag

ETa = reale Evapotranspiration,

Ako = Siel/Kanalabfluss und Oberflächenabfluss

As = Absickerung bei teilversiegelten und unversiegelten Flächen

ΔS = Speicherinhaltsänderung im (durchwurzelten) Bodenraum

Die Grundwasserneubildung entspricht in erster Näherung der Absickerung aus dem durchwurzelten Bodenraum:

$$GW_{\text{neu}} = As = N - ETa - Ako$$

Für die Wasserhaushaltsberechnungen werden Bilanzjahre zugrundegelegt, die vom 1. April bis zum 31. März des Folgejahres laufen. Dabei wird davon ausgegangen, dass ΔS im Bilanzjahr vernachlässigbar klein ist, weil der Speicherinhalt im Boden vor Beginn der Vegetationsperiode in der Regel jeweils bis zur Feldkapazität aufgefüllt ist.

Der Wasserhaushalt wird für die Teilflächen bestimmt und ergibt in der gewichteten Summe den Oberflächenwasserhaushalt des gesamten Gebietes.

Aufgrund der Unsicherheit von Bilanzierungsverfahren ohne Vor-Ort-Messungen werden verschiedene Ansätze verfolgt, um den möglichen Fehlerbereich einzugrenzen. Nach einem relativ komplexen Modell (GBA 2001), das u. a. zwei Berechnungsansätze für die reale Verdunstung enthält, werden der gesamte Abfluss und die Sickerung - für jeden Flächentyp - berechnet. Im Ansatz 1 werden - in Abhängigkeit zum Flächentyp - das Verfahren nach RENGER und WESSOLEK (DVWK 1996) für bewachsene Flächen, das Verfahren nach PROKSCH (1990) für unbewachsenen Boden sowie ein Schätzverfahren für versiegelte und teilversiegelte Flächen kombiniert. Der Ansatz 2 entspricht im wesentlichen dem Verfahren nach BAGROV (DVWK 1996). Die Berechnung wurde zudem mit zwei Szenarien, nämlich „best case“ und „worst case“ für geringste und höchste Grundwasserneubildung, durchgeführt. Bei den so ermittelten Jahreswerten ist die Vernachlässigung der Bodenspeicherinhaltsänderung ΔS zu berücksichtigen. Das bedeutet, dass die Fehler durch die Gleichsetzung von Absickerung As und Grundwasserneubildung GW_{neu} bei den Werten für die Einzeljahre größer sind als bei der Berechnung mehrjähriger Mittelwerte.

6.2 Flächentypen

Das untersuchte Industrieareal setzt sich aus einer Reihe unterschiedlicher Teilflächen zusammen, die unter hydrologischen Gesichtspunkten verschiedenen Flächentypen zuzuordnen sind. Die Flächen werden zunächst aus dem Luftbild (Abb. 1) - soweit ersichtlich – herausdigitalisiert und mit Geländebefunden endgültig eingeordnet (Abb. 7).

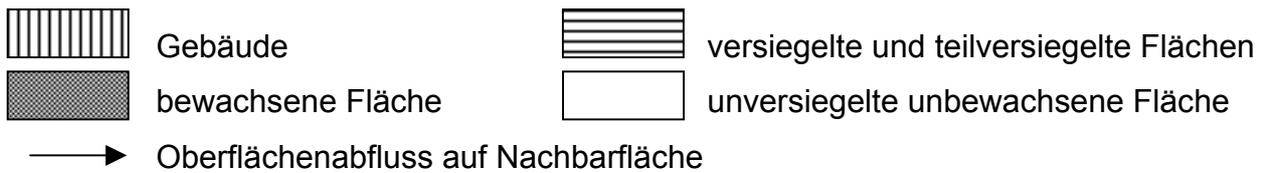
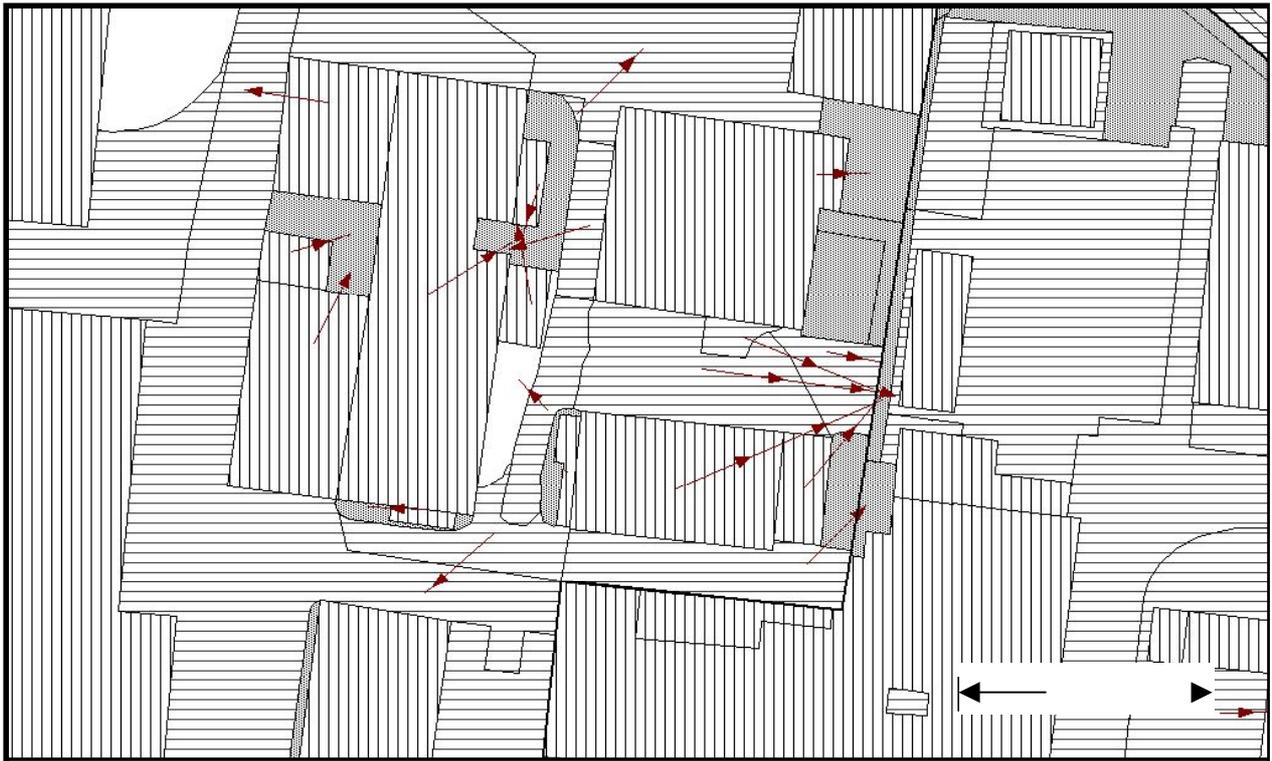


Abb. 7: Kartenausschnitt der Flächennutzung mit Darstellung der Flächen-Haupttypen und des Oberflächenabflusses, soweit er Teilflächengrenzen überschreitet

übergeordneter Flächentyp	Fläche [m²]	Flächenanteil [%]
Gebäude (Dachflächen)	27507	33,1
unbebaute versiegelte und teilversiegelte Flächen	39617	47,6
bewachsene Flächen	7567	9,1
unversiegelte unbewachsene Flächen	8383	10,1
Oberflächengewässer	150	0,2
Untersuchungsgebiet	83224 m²	100,0%

Tabelle 1: Übergeordnete Flächentypen und -größen im Untersuchungsgebiet

Die hinsichtlich ihrer Verdunstung einheitlichen Flächentypen werden zu übergeordneten Typen zusammengefasst (Tab. 1). Auf den ersten Blick wird ersichtlich, dass der Versiegelungsgrad im Untersuchungsgebiet mit etwa 80% der Gesamtfläche sehr hoch liegt. Die größte Gruppe mit 47,6% der Gesamtfläche bilden die unbebauten versiegelten (und teilversiegelten) Flächen, gefolgt von den Dachflächen. Innerhalb der Gruppe der unbebauten versiegelten Flächen dominiert der Flächentyp Asphalt, Beton (und Betonplatten >1 m²) sowie Betonunterbau mit einem Anteil von etwa zwei Dritteln dieser Gruppe. Das ist insofern von Bedeutung, als dieser Typ nach den Dachflächen die geringste Durchsickerung aufweist und damit einen hohen Oberflächenabfluss verursacht. Die unversiegelten Flächen spielen mit jeweils um 10% für bewachsene und unbewachsene Flächen in ihrer Ausdehnung eine untergeordnete Rolle; für die Grundwasserneubildung sind sie dennoch von Bedeutung, da hier das Wasser ungehindert einsickern kann.

Eine wesentliche Größe der Wasserbilanz stellt die Entwässerung der Dachflächen und unbebauten versiegelten Flächen dar. Aus diesem Grund wurden bei der Kartierung - soweit ersichtlich - zusätzliche Informationen wie z. B. Neigungsrichtung des Geländes, Gullys und Dachentwässerungen erfasst. Darüber hinaus wurden Unterlagen über die Grundstücksentwässerung ausgewertet. Zudem wurden Anlieger befragt, insbesondere wenn keine entsprechenden Akten vorlagen. Aus den Informationen über die Grundstücksentwässerung werden Entwässerungstypen (z. B. „Dachfläche in Regenwassersiel“, „Fläche ohne Oberflächenentwässerung“ etc.) abgeleitet; jede Teilfläche wird einem dieser Typen zugeordnet.

Die Art der Entwässerung konnte nicht für alle Teilflächen eindeutig geklärt werden. Insbesondere bei älteren Gebäuden oder Versiegelungsflächen sind die Grundstücksentwässerungspläne teilweise veraltet oder gar nicht vorhanden. In einigen Fällen konnten die Anlieger Auskunft erteilen. Den verbleibenden Unklarheiten auf einigen wenigen Flächen mit unbekannter Entwässerung wird mit der „best case“- und „worst case“-Annahme Rechnung getragen. In der „worst case“-Annahme ist der Flächenanteil, der eine Infiltration in die Kapsel bewirken kann, um 6% höher als in der „best case“-Annahme. In beiden Szenarien entwässern über 60% der Gesamtfläche in die Kanalisation.

Resultierender Entwässerungstyp	„best case“	„worst case“
Entwässerung ins Sied	67,9%	61,6%
Infiltration auf unversiegelten Flächen	27,6%	28,3%
Infiltration in Sickerschächte	2,6%	8,3%
Oberflächenabfluss aus dem Gebiet	1,8%	1,8%

Tabelle 2: Vergleich der Flächenanteile der resultierenden Entwässerungstypen an der Gesamtfläche nach „best case“- und „worst case“-Annahme

Nur ein sehr geringer Anteil der Flächen verursacht einen Oberflächenabfluss aus dem Untersuchungsgebiet heraus. Allerdings entwässern nicht alle versiegelten Flächen zwangsläufig auch in die Kanalisation. Wird z. B. bei der oberirdischen Entwässerung einer Fläche auf eine benachbarte Fläche entwässert, so wird die Quellfläche im Hinblick auf den Entwässerungstyp ihrer Zielfläche zugeordnet (Abb. 7).

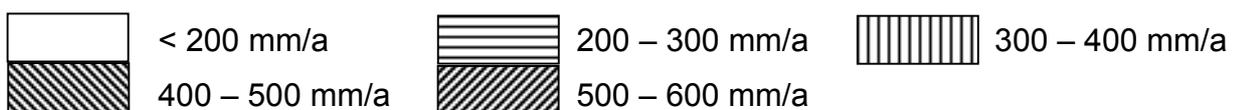


Abb. 8: Kartenausschnitt der durchschnittlichen realen Verdunstung der Flächen-Haupttypen im Zeitraum 1985 bis 2000

6.3 Ergebnisse

Bezüglich der Flächentypen sind die Verdunstungshöhen erwartungsgemäß bei den versiegelten Flächen am kleinsten und bei Vegetationsflächen am größten, unbewachsene unversiegelte sowie teilversiegelte Flächen liegen dazwischen (Abb. 8). Die Größenordnung der realen Gebietsverdunstung ETa zeigt den flächenmäßig dominanten Einfluss der versiegelten Flächen. Sie schwankt insgesamt zwischen 150 und 200 mm/a.

Bilanzzeitraum	ETp (Haude)	ETa (Renger etc.)	ETa (Bagrov)
1985-1989	523,7	151,6	184,5
1990-1994	582,2	154,4	211,8
1995-1999	563,0	151,3	176,0
1996-2000	537,0	150,9	175,3
1985-2000	556,6	152,2	189,2
2000	560,7	148,9	159,1*

* Nur zum Vergleich, Verfahren eignet sich nicht für Einzeljahre

Tabelle 3: Vergleich der potentiellen und der realen Gebietsverdunstung in mm/a für verschiedene Zeiträume (nach GBA 2001)

Bilanzjahr	N (korr.)	ETa (Renger etc.)	Ako (best case)	Ako (worst case)	GWneu (best case)	GWneu (worst case)
1985	899,4	150,7	483,2	437,9	265,5	310,7
1986	803,7	150,8	423,2	383,6	229,6	269,2
1987	1107,4	153,5	613,4	556,0	340,4	397,8
1988	739,8	150,5	383,2	347,3	206,0	241,9
1989	810,9	152,2	427,8	387,7	231,0	271,1
1990	867,1	153,3	463,0	419,6	250,8	294,2
1991	1026,6	154,0	562,8	510,1	309,8	362,5
1992	770,1	151,0	402,2	364,6	216,9	254,5
1993	1287,9	159,3	726,4	658,4	402,2	470,2
1994	1069,6	154,6	589,7	534,5	325,3	380,5
1995	577,4	150,8	281,3	255,0	145,3	171,6
1996	606,4	146,5	299,8	271,7	160,1	188,2
1997	863,6	153,4	460,7	417,6	249,4	292,6
1998	1099,2	156,0	608,3	551,4	334,9	391,9
1999	771,1	149,6	402,8	365,1	218,7	256,4
2000	633,4	148,9	316,6	287,0	167,9	197,5
Mittel	870,9	152,2	465,3	421,7	253,4	296,9

Tabelle 4: Gebietswasserhaushaltsbilanz in mm/a nach Bilanzjahren (nach GBA 2001)

Bei der Gebietsgrundwasserneubildung zeigt sich, dass in den Einzeljahren erhebliche Schwankungen auftreten. Im ausgesprochenen Nassjahr 1993 beträgt die Grundwasserneubildung je nach Szenario „best case“ und „worst case“ der flächenbezogenen Abfluss-

typen – etwa 400 bzw. 470 mm/a (entsprechend etwa 33.000 bzw. 39.000 m³/a). Dagegen beträgt sie in den relativ trockenen Jahren 1995 und 2000 nur etwa 145 bis 200 mm/a (entsprechend etwa 12.000 – 17.000 m³/a). Die Abweichungen zwischen best case und worst case liegen mit etwa 20 % in einem tolerierbaren Rahmen.

Im Mittel des Zeitraums 1985 bis 2000 beträgt die Grundwasserneubildung 250 – 300 mm/a und liegt damit nicht wesentlich höher als die Modellannahme des GLA für die Dichtwandkapsel mit 220 mm/a.

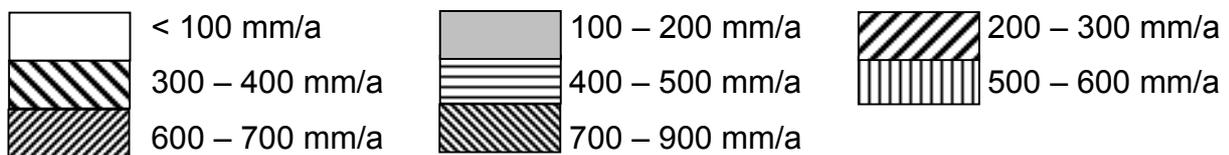


Abb. 9: Kartenausschnitt der durchschnittlichen Grundwasserneubildung der Flächen-Haupttypen im Zeitraum 1985 bis 2000

Im Hinblick auf die Grundwasserneubildung werden erwartungsgemäß hohe Werte bei den unversiegelten unbewachsenen Flächen und geringe Werte bei vollversiegelten Flächen mit Abfluss ins Siel gefunden. Maximalwerte von 700 – 900 mm/a treten allerdings bei Gebäuden mit Dachentwässerung in Sickerschächte bzw. auf unversiegelte Nachbarflächen auf (Abb. 9).

7 Wasserhaushaltsbilanz der Dichtwandkapsel

Der Wasserhaushalt der Dichtwandkapsel kann mit folgender Gleichung beschrieben werden:

$$A + Q_n \pm \Delta W = GW_{\text{neu}} + Z + X \quad [\text{mm} = \text{l/m}^2]$$

- mit:
- A = Aussickerung (durch die Dichtwand, durch die Aquiferbasis)
 - Q_n = Nettoentnahme durch den Kapselbetrieb
 - ΔW = Änderung der Wassermenge innerhalb der Kapsel (GW-Standsänderung)
 - GW_{neu} = Grundwasserneubildung
 - Z = Zusickerung (durch die Dichtwand)
 - X = unbekannter Input

Im Bilanzjahr von April 2000 bis März 2001 sind die Grundwasserstände im Mittel nur um etwa 55 cm gefallen, das entspricht bei einer effektiven Porosität von 20% etwa 110 mm. Im gleichen Zeitraum wurden netto etwa 60.000 m³ (6,9 m³/h) Grundwasser entnommen, bezogen auf die Gesamtfläche entspricht dies etwa 670 mm.

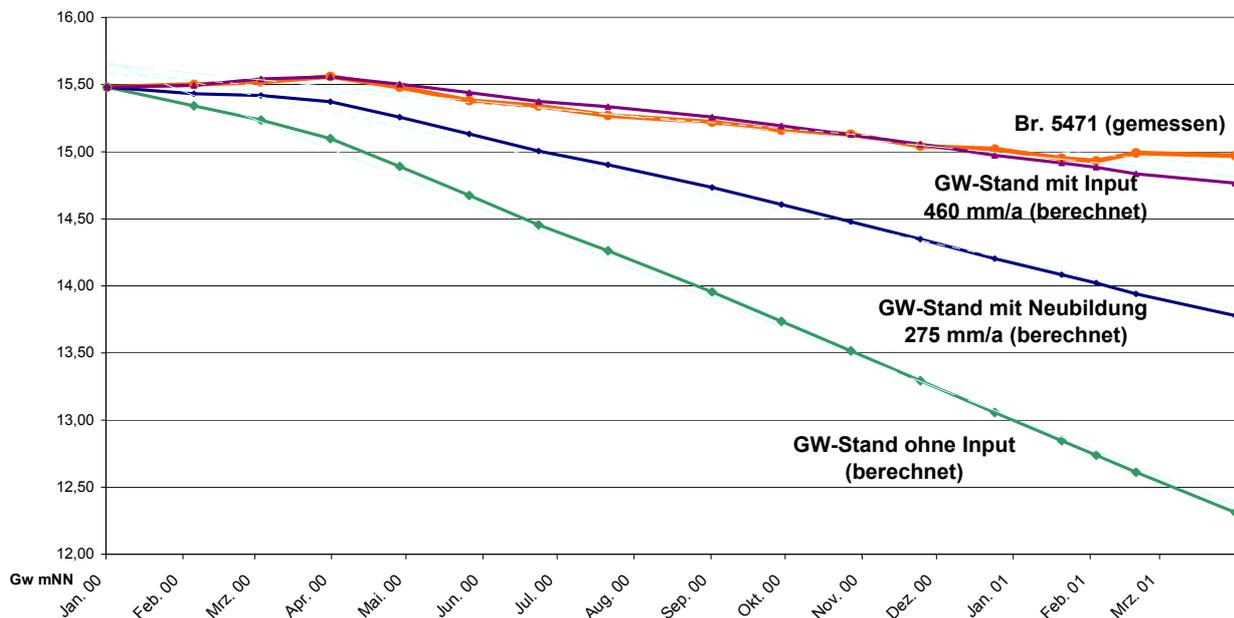


Abb. 10: Vergleich von gemessenem Wasserstand in der Kapsel mit berechneten Wasserständen in Abhängigkeit von Grundwasserneubildung und unbekanntem Input im Zeitraum Januar 2000 bis April 2001

Nach den Annahmen zur Dichtwanddurchströmung und zur Durchsickerung der Mergelschicht an der Basis beträgt die Aussickerung aus der Kapsel etwa 20 mm/a. Kalkuliert man mit diesen Größen den Wasserhaushalt der Kapsel, so ergibt sich zur Erklärung der überraschend geringen Grundwasserabsenkung eine theoretisch notwendige Grundwasserneubildung (inkl. unbekanntem Input X) von 540 mm/a (Abb. 10)! In der vorliegenden Untersuchung wurden für das - ausgesprochen trockene - Bilanzjahr 2000 dagegen zwischen 170 mm/a und 200 mm/a ermittelt (Tab. 4), d.h. es besteht selbst unter den ungünstigsten Annahmen zur Wasserhaushaltsbilanzierung ein Fehlbetrag von ca. 340 mm/a. Legt man die langjährigen Mittelwerte der Grundwasserneubildung (250 – 300 mm/a) zugrunde, beträgt dieser Fehlbetrag immer noch 240 bis 290 mm/a.

Die oben genannten Fehlbeträge (in absoluten Zahlen immerhin in der Größenordnung von 20.000 bis 30.000 m³/a bzw. 2,3 bis 3,5 m³/h) sind eindeutig größer als die im Wasserhaushaltsmodell der Kapsel möglichen Fehler. Diese Diskrepanz bedeutet, dass die Wassermenge in der Kapsel außer von der Grundwasserneubildung von einem bisher nicht berücksichtigten Input erheblich beeinflusst wird.

Neben einer erhöhten Zusickerung durch die Dichtwand kommen dafür verschiedene Möglichkeiten in Betracht: Sofern der Input aus der (undichten) Kanalisation stammt, so müsste der gesamte Abfluss der Regenwasserkanalisation Ako mit ca. 300 mm bzw. 25.000 m³ bzw. 2,9 m³/h im Bilanzjahr 2000 versickern (Tab. 4), um die Differenz zu erklären. Eine unkontrollierte Versickerung von Brauchwasser, bisher in der Bilanz nicht berücksichtigt, erscheint ebenfalls nicht ausgeschlossen. Je nach Verwendung des Brauchwassers ist eine dadurch implizierte künstliche Grundwasserneubildung (zusätzlicher Bilanzinput) möglich, sobald das Wasser auf unversiegelte oder teilversiegelte Flächen kommt (z.B. durch Beregnung zur Verhinderung von Staubentwicklung) bzw. als Ablauf von versiegelten Flächen gezielt oder diffus versickert.

Nach derzeitigem Kenntnisstand ist eine Einschätzung der Größenordnung beider genannten Faktoren nicht möglich.

8. Folgerungen für das weitere Vorgehen

Nach Abschluss der Wasserhaushaltsbilanzierung konnte die Herkunft des zur ausgeglichenen Bilanz erforderlichen unbekanntem Inputs nicht ermittelt werden. Der weitere Betrieb der Entnahme aus der Kapsel seit April 2001 hat keine signifikante Verbesserung des Absenkungstrends ergeben. Das Sanierungsziel mit einem allseitig nach innen gerichteten hydraulischen Gradienten ist bei gleichbleibender Nettoentnahme voraussichtlich erst nach 4 bis 5 Jahren erreichbar. Eine Erhöhung der Entnahme ist ohne eine erhebliche Erweiterung der Betriebsanlage nicht möglich und derzeit nicht vorgesehen.

Um dagegen die Herkunft des unbekanntem Inputs weiter einzugrenzen, sind im ersten Schritt Untersuchungen an der Dichtwand geplant. Eine erhöhte Durchsickerung in Teilbereichen der Dichtwand könnte für den verzögerten Rückgang der Wasserstände in der Kapsel mitverantwortlich sein. Mit Messstellenpaaren und Pumpversuchen sollen Daten über die tatsächliche Dichtwirkung der Kapsel gewonnen werden. Weiterhin soll dem vermuteten Input durch Einträge aus der Regenwasser- und Brauchwasserkanalisation genauer nachgegangen werden.

Anschrift der Verfasser:

Dipl. Geol. Thomas Haupt

✉ E-Mail thomas.haupt@bug.hamburg.de

☎ Telefon: (040) 4 28 45 - 35 93

📠 Telefax: (040) 4 28 45 - 35 72

Dr. rer. nat. Volker Sokollek

✉ E-Mail volker.sokollek@bug.hamburg.de

☎ Telefon: (040) 4 28 45 - 35 49

📠 Telefax: (040) 4 28 45 - 35 72

Freie und Hansestadt Hamburg

Behörde für Umwelt und Gesundheit

Amt für Umweltschutz, Altlastensanierung

Billstrasse 84, 20539 Hamburg

Literatur

Andersen, Arne (Hrsg.): Umweltgeschichte: Das Beispiel Hamburg, Ergebnisse Verlag Hamburg, 1990

Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg: Drs. 12/266 v. 27.01.1987, „Koordination der Untersuchungs- und Sanierungsmaßnahmen im Eidelstedter Industriegebiet“

DVWK: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen, DVWK-Merkblätter 238/1996

GBA, Geographiebüro Augustin: Ermittlung der Grundwasserneubildung im Bereich der Grundwasserkapsel Ottensener Straße im Industriegebiet Hamburg-Eidelstedt, Mai 2001

Geologisches Landesamt Hamburg: Grundwassermodell Eidelstedt, 1991 - 1999

Haupt, Thomas: Grundwassernutzung in einem Industriegebiet – Eidelstedt, was tun? – Tagungsband Altlastensanierung in Hamburg – Fachtagung 27./28.09.1999

IMS, Ingenieurgesellschaft mbH: Sanierungskonzept für die ehemalige „Dose-Fläche“, 18.12.1989

IMS, Ingenieurgesellschaft mbH: Sicherungs- und Sanierungsvorschläge für das Grundstück der ehemaligen Firma J. Jeserich AG, IGE, 1989

IWB, Ingenieurgesellschaft mbH: Durchführbarkeitsstudie zur sukzessiven Auskoffierung, Sortierung, Weiterbehandlung und teilweisen Wiedereinlagerung bei der Sanierung der ehem. „Dose-Fläche“, IGE, März 1990

IWB, Ingenieurgesellschaft mbH: Durchführbarkeitsstudie zur Sicherung der im Bereich der Ottensener Straße gelegenen Boden- und Grundwasserverunreinigungen, März 1996

Meng, Alfred: „Geschichte der Hamburger Wasserversorgung“, Hamburger Wasserwerke GmbH, Medien-Verlag Schubert, Hamburg, 1993

Proksch, Walter: Lysimeterauswertungen zur flächendifferenzierten Ermittlung mittlerer Grundwasserneubildungsraten, Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch Nr. 55, Koblenz 1990

Wasserwerk Stellingen: Hamburger Wasserwerke GmbH, Abteilung Publicrelations/Werbung