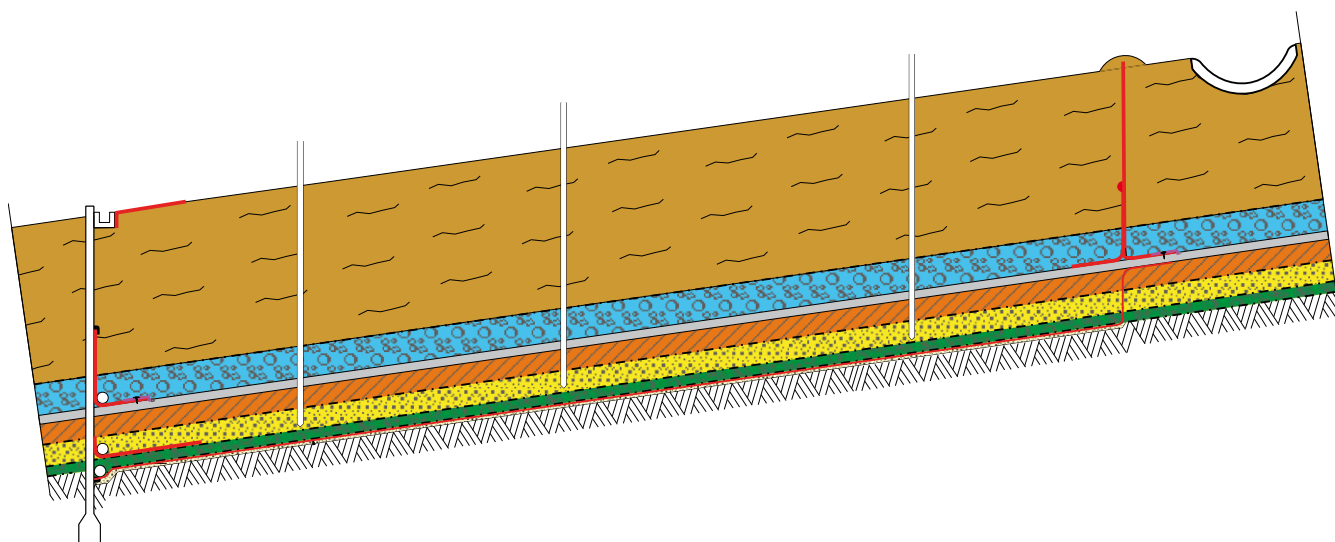


Stadt Pforzheim
Hausmülldeponie Hohberg
- Oberflächenabdichtung -
LYSIMETER - TESTFELD

Jahresabschlussbericht 2012

ZUR
messtechnischen Bauwerksüberwachung mittels Lysimeter

erstellt für die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
76231 Karlsruhe



Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	II
Anhangverzeichnis	III

Inhalt

1 Einleitung und Aufgabenstellung	1
1.1. Standort Hohberg.....	2
2 Beschreibung des Lysimeters	4
2.1. Messprinzip.....	4
2.2. Lysimeteraufbau	4
3 Lysimeterabflussverhalten für das Untersuchungsjahr 2012	7
3.1. Messung meteorologischer Eingangsdaten.....	7
3.2. Niederschlag	8
3.3. Abflussregime	11
3.3.1. Oberflächenabfluss (Q_{surf})	11
3.3.2. Oberer Kiesflächenfilter (OKF)	12
3.3.3. Kapillarschicht (KS)	13
3.3.4. KapillARBrechende Schicht (KBS).....	14
3.3.5. Evapotranspiration ET_a	15
4 Bewertung der Oberflächenabdichtung	16
4.1. Lysimeter-Wasserhaushaltsbilanz für das Untersuchungsjahr 2012	16
4.2. k_f -Werte 2012 und Wirkungsgrad W_{ges} des Gesamtsystems für den Untersuchungszeitraum 2003 – 2012	17
4.3. Wirkungsgrad.....	18
5 Neutronensondenmessung zur Bestimmung der Bodenfeuchte	20
6 Zusammenfassende Schlussfolgerungen	21
7 Literatur und bisherige Berichte	23
8 Anhang	26

Abbildungsverzeichnis (z.T. gekürzt)

Abb. 1: Geographische Lage der HMD Hohberg	3
Abb. 2: Skizze des Lysimeters	5
Abb. 3: Schematischer Querschnitt des Lysimeters mit Neutronensondenmessstellen.....	6
Abb. 4: Niederschlagsmesser	7
Abb. 5: Monatsniederschläge an der DWD-Station Ispringen.. ..	8
Abb. 6: Verteilung der täglichen Luftfeuchte und Temperatur	9
Abb. 7: Vergleich der Niederschlagsdaten Hohberg und Ispringen.	10
Abb. 8: Differenzen der Tagesniederschläge Ispringen - Hohberg	11
Abb. 9: Vergleich der Oberflächenabflüsse der Jahre 2011/2012 und Niederschlag 2012.	12
Abb. 10: Vergleich der Abflussregime des OKF für die Jahre 2011/2012.	13
Abb. 11: Monatliches Abflussregime der „Kapillarschicht KS“ für die Messjahre 2011/2012. ..	14
Abb. 12: Monatliches Abflussregime der Komponente KBS für die Messjahre 2011 und 2012. 15	
Abb. 13: Lysimeterbilanz 2012 der Schichtabflüsse	17
Abb. 14: Vergleich der k_f -Werte der Asphaltabdichtungsschicht für die Jahre 2011/2012.	18
Abb. 15: Grafik über die Wirkungsgrade aus dem Messungszeitraum 2003 - 2012.....	19
Abb. 16: Darstellung der Bodenfeuchteprofile für die Messstellen Po , Pm und Pu	20

Tabellenverzeichnis (z.T. gekürzt)

Tab. 1: Monatliche Abflusswerte der Abdichtungskomponenten.	16
Tab. 2: Monatliche Abflüsse der KS, KBS und Gesamtabfluss (Ges) der Kapillarsperre sowie deren Jahressummen (Σ) und die daraus resultierenden monatlichen $k_{f,As}$ -Werte der Asphaltsschicht und der Jahresschnitt ($\bar{}$).....	17

Anhänge (z.T. gekürzt)

Anhang 1: Darstellung der Wasserstände der einzelnen Lysimeterabflüsse über das Messjahr 2012.....	26
Anhang 2: Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse und der Bodenfeuchte 2003.	27
Anhang 3: Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse der Bodenfeuchte 2004.	27
Anhang 4: Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse der Bodenfeuchte 2005	27
Anhang 5: Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse und Bodenfeuchte + ET_a 2006.	27
Anhang 6: Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse und Bodenfeuchte + ET_a 2007	28
Anhang 7: Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse und Bodenfeuchte + ET_a 2008	28
Anhang 8: Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse und Bodenfeuchte + ET_a 2009	28
Anhang 9: Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse und Bodenfeuchte + ET_a 2010.	28
Anhang 10: Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse und Bodenfeuchte + ET_a 2011.	28
Anhang 11: Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse und Bodenfeuchte + ET_a 2012.	29
Anhang 12: Gesamtwirkungsgrad W_{ges} 2003 – 2012.....	30
Anhang 13: beigelegt als CD	32

1 Einleitung und Aufgabenstellung

Das Amt für Stadtentsorgung (Technische Dienste) der Stadt Pforzheim unterhält auf dem Hohberg nördlich der Stadt Pforzheim im Rahmen der Sicherung und Sanierung der Hausmülldeponie eine zur TA-Si alternative Oberflächenabdichtung.

Zur Ausführung der Deponie-Oberflächenabdichtung im Bauabschnitt I wurde ein Abdichtungssystem, bestehend aus einer Asphaltabdichtung mit unterliegender Kapillarsperre, realisiert. Auf Veranlassung des Regierungspräsidiums Karlsruhe, der zuständigen Genehmigungsbehörde für den Bau der Oberflächenabdichtung auf der Hausmülldeponie Pforzheim-Hohberg, wurde von der Stadt Pforzheim parallel zum Bau des ersten Abdichtungsabschnitts von September 2002 bis Dezember 2003 ein Großlysimeter auf der Deponie errichtet.

Die derzeitigen Untersuchungen umfassen eine Bauwerksüberwachung des Abdichtungssystems durch die kontinuierliche und lückenlose Erfassung aller Abflüsse innerhalb der einzelnen Schichten der Abdichtung. Ein Schwerpunkt liegt auf präzisen Neutronensondenmessungen, die nötig sind, um Bodenfeuchtevariationen zu bestimmen, welche wiederum für das Erstellen der Lysimeter-Wasserhaushaltsbilanz erforderlich sind. Jährlich abgeschlossene Messzyklen mit kontinuierlichen Untersuchungen und fortlaufende Auswertungen und Jahresberichte ermöglichen es, belastbare Aussagen über die Wirkungsgrade und eine Bewertung des hier eingesetzten, alternativen Oberflächenabdichtungssystems zu gewinnen.

Dem Lehrstuhl für Angewandte Geologie (AGK) der Universität Karlsruhe (Prof. Dr. Heinz Hötzl (i.R.), jetzt: Karlsruher Institut für Technologie, KIT, Institut für Angewandte Geowissenschaften, AGW – Abteilung Hydrogeologie unter Leitung von Herrn Prof. Dr. N. Goldscheider), kam während der Planung und des Bauablaufes eine beratende und gutachterliche Tätigkeit zu. Das AGW wurde seitens der Stadt Pforzheim mit der messtechnischen Lysimeterbetreuung und der Auswertung der am Lysimeter gewonnenen Daten zur Erstellung von Bodenwasserbilanzen und zur Berechnung von Wirkungsgraden beauftragt.

Als begleitende Maßnahme zur Bauwerksüberwachung des Lysimeters betreute das AGW bis zum Messjahr 2006 die Klimastation, die sich in unmittelbarer Nähe zum Lysimeter befindet. Der durch einen Blitzeinschlag im Juli 2006 beschädigte UGT-Datenlogger wurde vom Auftraggeber durch einen neuen Datenlogger der Firma LUFFT ersetzt. Die weitere meteorologische Datenerfassung erfolgte nach dem Umbau durch die Stadt Pforzheim. Die meteorologischen Kenndaten für den Bearbeitungszeitraum 2008 - 2012 wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.

Da der UGT Logger der Abflussregistrierung einen separaten Anschluss hat, wurde dieser durch den Ausfall nicht beeinträchtigt. Jedoch wurde das AGW im Jahr 2007 nicht mit der Wartung und Pflege des Lysimeterstestfeldes und der Messeinrichtung beauftragt. Somit konnte, nach einer Nachbeauftragung 2008, im Jahr 2007 und zum Teil auch 2008, nur auf qualitativ weniger hochwertige Daten zurückgegriffen werden. Im Sommer 2008 wurde die Lysimeterstation wieder in Stand gesetzt. Die Datenreihen weisen z.T. Effekte aus nicht behobenen Störungen im Messsystem auf und mussten daher unter Anwendung von umfangreichen Korrekturverfahren angepasst werden.

Nicht behobene Störungen im Messsystem bedurften einer Behandlung der Datenreihen mit umfangreichen Korrekturverfahren (Augenstein, 2009).

Beispielsweise sind durch nicht gewartete Ventile die Abflüsse nur zum Teil korrekt aufgezeichnet worden und die folgenden Abflussspitzen sind als zu niedrig registriert worden. Zur Fehlerkorrektur wurde für 2007/2008 daher ein Korrekturmodul entwickelt, um die fehlenden Abflüsse zu ermitteln (Augenstein, 2009). Mit diesem Modul wird abgeschätzt, wie groß die Frequenz des Öffnens und Schließens des Ventils ist und dann die daraus entstehende Differenz des Abflusses summiert. Je nachdem wie man diese wählt, wird mehr oder weniger Abfluss dazu addiert. Dieser wiederum kann als Fehler angesehen und durch das beschriebene Verfahren eliminiert werden. Für die Daten 2008 wurde zusätzlich das Wasserbilanzmodell HELP[®] (Hydrologic Evaluation of Landfill Performance; dt.: hydrologische Bewertung des Deponieverhaltens) angewandt. Dabei wurde anhand der korrekten Abflüsse des OKF das Modell kalibriert und die fehlenden Daten durch Faktorenbestimmung ermittelt.

Nach der Sichtung und Überprüfung der Daten für 2008 wurde festgestellt, dass etwa ab Juli 2008 wieder signifikanter Abfluss im Behälter der Kapillarbrechenden Schicht registriert wurde. Dabei liegt die Vermu-

tung nahe, dass es sich dabei nicht um eine Leckage im Abdichtungssystem handelt, sondern um eine bauwerksseitige Ursache. Durch ungleiche Setzungserscheinungen neigte sich das Haus mit den angeschlossenen Abfluss-Messrohren derart nach hinten, dass die Rohre durch die resultierende Biegung das Wasser nicht mehr direkt in die Behälter abführen konnten. Erst wenn die entstandene Mulde gefüllt und der Neigungswinkel ausgeglichen ist und überläuft, steigt der Wasserstand in den entsprechenden Behältern.

Trotz der oben beschriebenen Fehlerquellen und notwendigen Korrekturen konnte im Messjahr 2008 eine plausible Auswertung durchgeführt werden. Diese wiederum ließ eine Bewertung des Dichtsystems anhand einer Lysimeter-Abflussbilanzierung zu.

Im anschließenden Messzeitraum 2009 konnte ein „normales“ Abflussverhalten der Kapillarbrechenden Schicht beobachtet werden. Erwartungsgemäß nahm der Abfluss im ersten Halbjahr verglichen mit dem des Vorjahres zu, da die Normalisierung des Abflusses im Sommer stattfand. Die zweiten Jahreshälften weisen dahingegen keine großen Abweichungen mehr auf, was darauf schließen lässt, dass sich das Abflussverhalten in diesem Schema einpendeln wird.

Das Jahr 2012 konnte, trotz einiger Messlücken durch vorzeitig entleerte Behälter aufgrund defekter Ventile und alternativen meteorologischen Daten, eine ordentliche Auswertung der Daten durchgeführt werden. Die Ergebnisse sollen im Folgenden vorgestellt werden.

1.1. Standort Hohberg

Die Deponie der Klasse DK II befindet sich am nördlichen Rand des Stadtgebietes von Pforzheim und liegt teilweise im anschließenden Enzkreis (Abb. 1). Der Standort der Deponie weist eine Höhendifferenz von 34 m auf (331 – 365 müNN). Die Lage des Eingangsbereichs ist in Gauß-Krüger-Koordinaten: R: ³⁴78359 H: ⁵⁴20780. Die Deponie hat eine Gesamtfläche (rekultivierter und noch aktiver Bereich) von ca. 16,12 ha, wobei 13,6 ha die genehmigte Deponiefläche einnehmen (Stand 2006). Im Süden liegen forstwirtschaftlich genutzte Flächen, sowie das Stadtgebiet von Pforzheim. Nördlich befinden sich überwiegend landwirtschaftlich genutzte Bereiche, welche teilweise der Wasserschutzzone IIIB und IIIA (in letzterer liegt auch die Deponie) zugewiesen sind.

Morphologisch betrachtet liegt die Deponie am Südrand der Katharinentalerhof Senke, die mit bis zu 30 m mächtigem Lösslehm gefüllt ist. Unmittelbar darunter befindet sich die Einheit des Oberen Muschelkalks. Hierbei handelt es sich um einen Karstgrundwasserleiter, der in der näheren Umgebung durch typische Karsterscheinungen wie Senken und Dolinen charakterisiert ist (z.B. dem Eisinger Loch). Über die Mächtigkeit der Lösslehmschicht direkt unterhalb der Deponie, kann keine eindeutige Aussage getroffen werden.

Das anfallende Oberflächenwasser der Deponie, der angrenzenden Erd- und Altdeponie, sowie der Zufahrtsstraße und das Niederschlagswasser des Einzugsgebiets Katharinentalerhof Senke, werden der Fuchslochdoline zugeleitet. Dies beinhaltet das Oberflächenwasser der rekultivierten Abschnitte, Straßen, Dachflächenwasser und Sickerwasser des Oberen Kiesflächenfilters (OKF). Deponiesickerwasser wird über verschiedene Dränagesysteme einem Speicherbecken zugeführt und von dort in die Sickerwasserbehandlungsanlage vor Ort geleitet.

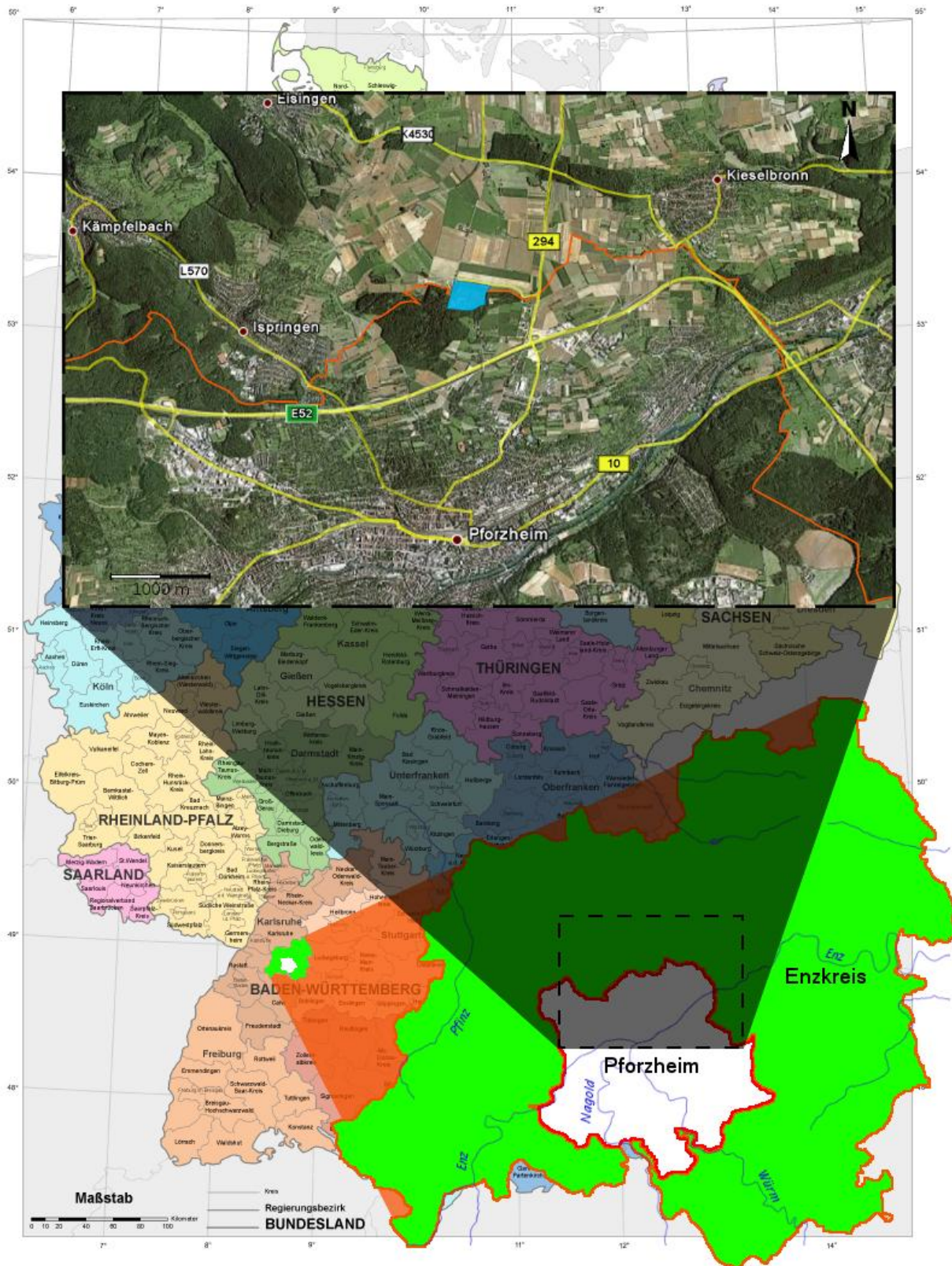


Abb. 1: Geographische Lage der HMD Hohberg (blaue Füllung in der Luftaufnahme). Die Grenze des Enzkreises (grüne Füllung) ist orange dargestellt, die Stadtgrenze von Pforzheim in rot (BKG: Verwaltungsgrenzen Deutschland (verändert), Google Earth: Luftbild Pforzheim Nord) (Augenstein, 2009).

2 Beschreibung des Lysimeters

2.1. Messprinzip

Das Großlysimeter befindet sich im nordwestlichen Bereich des Bauabschnitts I der Deponieoberflächenabdichtung. Das Lysimeter-Testfeld besitzt vier Abflusskomponenten, die jeweils getrennt gefasst, abgeleitet und in einem zentralen Messcontainer, Größe ca. 2,4 × 4 m, kontinuierlich registriert werden. Für die detaillierte Bestimmung der einzelnen Schichtabflüsse wurde vom Lehrstuhl für Angewandte Geologie Karlsruhe ein Messsystem entwickelt, das die Firma UGT (Umweltgerätetechnik), Müncheberg, realisierte. Jede Abflusskomponente wird hierbei in einen eigenen Messzylinder geleitet und die Wasserstände werden durch Ultraschallsensoren kontinuierlich (15-minütig), sowie ereignisgesteuert (d.h. Wasserstandsänderungen >2 cm), gemessen. Die Aufzeichnung wird auf einem zentralen Datenlogger in digitaler Form inklusive Datum und Uhrzeit aufgezeichnet. Bei einer maximalen Füllstandshöhe werden die an der Basis der Messzylinder angebrachten Magnetventile, welche über einzelne NIVU-MASTER-Kontrolleinheiten gesteuert werden, geöffnet und das angesammelte Wasser über die Ableitung abgeführt. Beim Unterschreiten eines minimalen Füllstandes wird das jeweilige Magnetventil wieder geschlossen und der Messzyklus beginnt von neuem. Die Messwerte werden mit Hilfe einer speziellen Software mit einem Computer ausgelesen und gespeichert. Die Messwerte auf dem Rechner können direkt über Datenfernübertragung (DFÜ) abgerufen und mit einem speziell entwickelten Verfahren ausgewertet werden.

2.2. Lysimeteraufbau

Die Lysimeterfläche beträgt 10 × 10 m (100 m²) (Abb. 2) und besitzt eine Neigung von 1:6,9 (8,23 °) (Abb. 3). Nach Berücksichtigung der Hangneigung beträgt die auf die Horizontale projizierte Lysimeterfläche 97 m². Der Aufbau des Lysimeters entspricht dem genehmigten Regelaufbau der Deponieoberflächenabdichtung, wie er 2003 auf ca. 1,5 ha der Deponie im Bauabschnitt I realisiert wurde.

In Abb. 3 ist der Aufbau der Oberflächenabdichtung schematisch dargestellt. Diese besteht von oben nach unten aus den folgenden Lagen:

- 1,5 m Rekultivierungsschicht (Wurzelboden)
- 0,3 m Dränage (Oberer Kiesflächenfilter, OKF)
- 0,075 m Asphaltabdichtung (realisiert wurden zwischen 7,5 und 15 cm)
- 0,2 m mineralische Tragschicht
- 0,2 m Kapillarschicht (KS)
- 0,1 m KapillARBrechende Schicht (KBS).

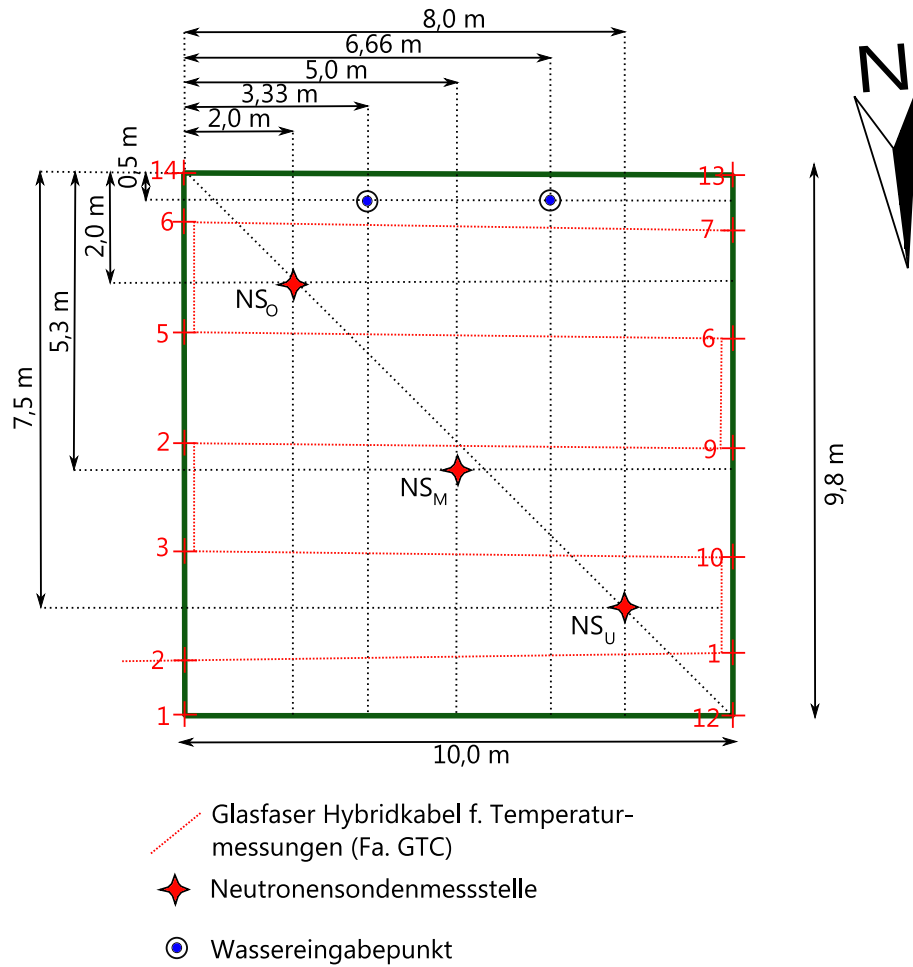


Abb. 2: Skizze des Lysimeters mit Verlegungsplan eines Glasfaserkabels, Neutronensondenmessstellen und Wassereingabepunkte für mögliche Flutungsversuche.

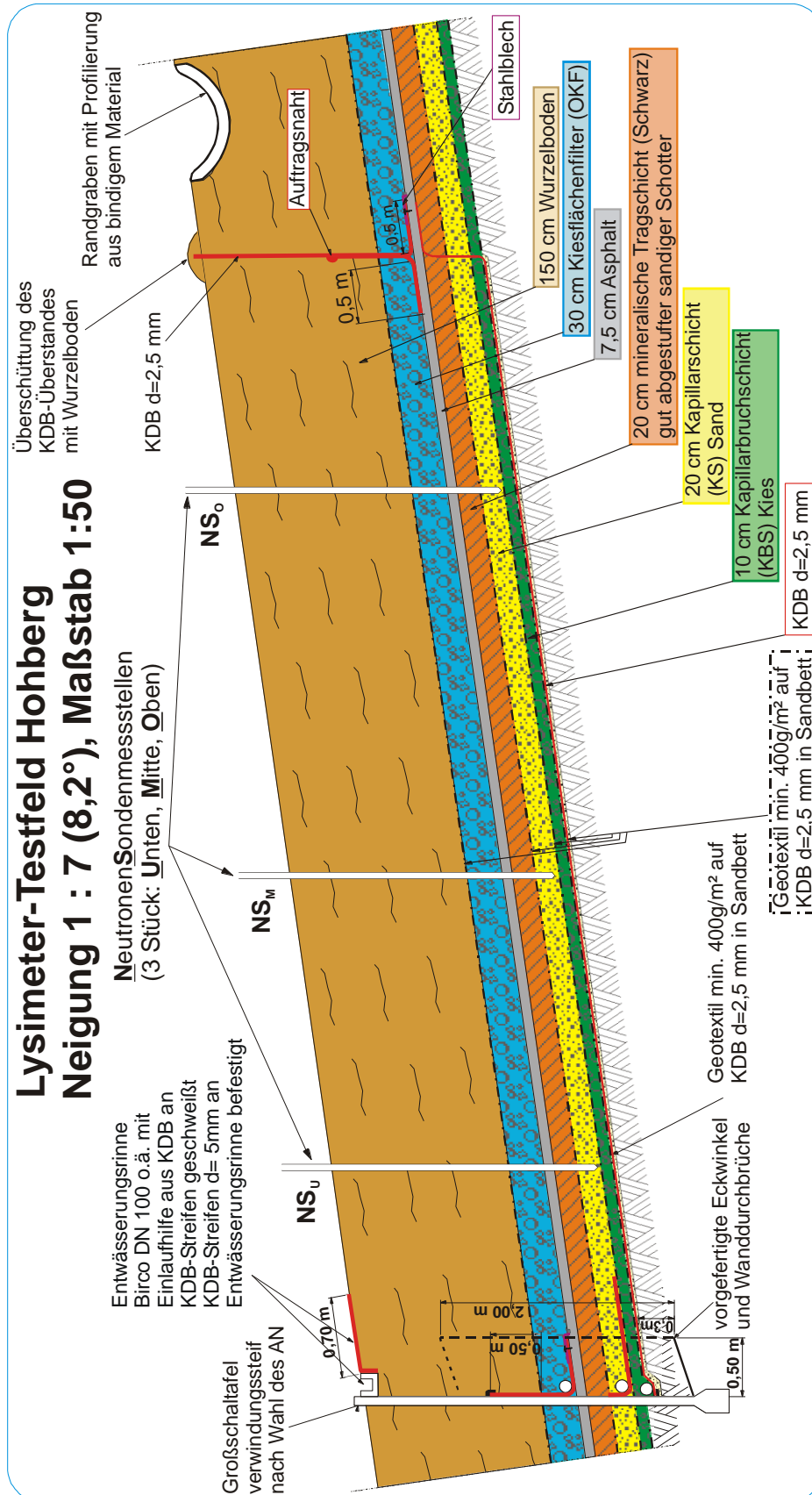


Abb. 3: Schematischer Querschnitt des Lysimeters mit Neutronensondenmessstellen.

3 Lysimeterabflussverhalten für das Untersuchungsjahr 2012

3.1. Messung meteorologischer Eingangsdaten

In 2003 wurde in unmittelbarer Nähe des Lysimeters (nur wenige Meter nördlich der Lysimeterstützwand) von der Firma UGT (Umweltgerätetechnik, Müncheberg) eine Klimastation errichtet und an die Datenerfassungseinheit im Messcontainer angeschlossen. Die aktuell messende Station wurde von der Firma LUFFT installiert (Abb. 4 a, b). Die folgenden kontinuierlich gemessenen Daten werden alle 15 Minuten im Datenlogger gespeichert und von der Stadt Pforzheim online abgerufen:

- Niederschlag
- Luftfeuchte
- Temperatur
- Globalstrahlung
- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung

(Nachtrag: Nach Aussage des Betreibers werden die Windparameter nicht aufgezeichnet)

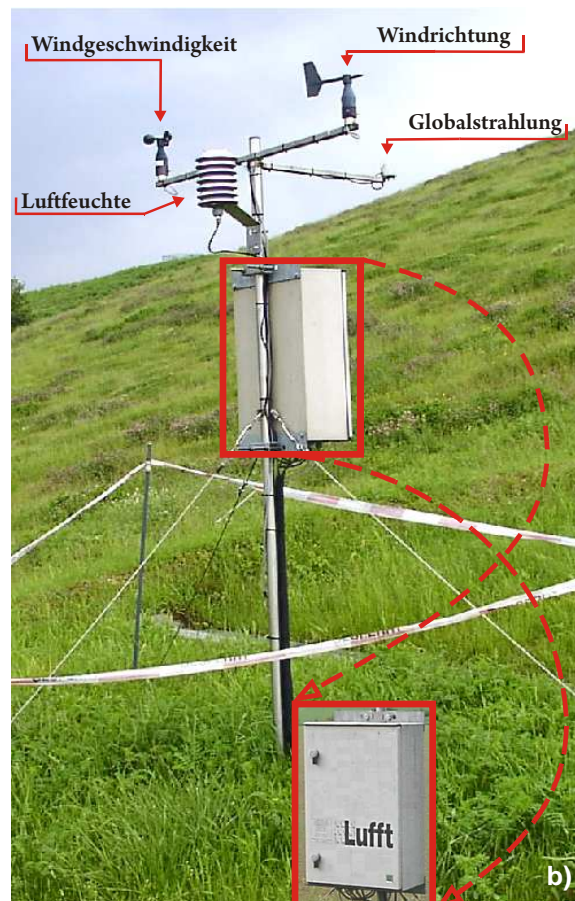


Abb. 4: a) Der Niederschlagsmesser des Lysimeters ist systembedingt direkt am Boden installiert. b) Die weiteren meteorologischen Daten werden mit den Niederschlägen an einen Datenlogger im Messcontainer gesendet und online abgerufen.

3.2. Niederschlag

Für das Jahr 2012 wurden aufgrund eines langen Ausfalls der Wetterstation Hohberg (Ende Januar bis Anfang Juli und Dezember), nur unzureichende meteorologische Daten gesammelt. Daher wurden von der Stadt Pforzheim die Niederschlagsdaten der DWD-Station Ispringen zur Verfügung gestellt, die sich in 1 km Entfernung befindet. Abb. 5 zeigt die tägliche Niederschlagsmenge und die monatlichen Gesamtsummen dieser Station.

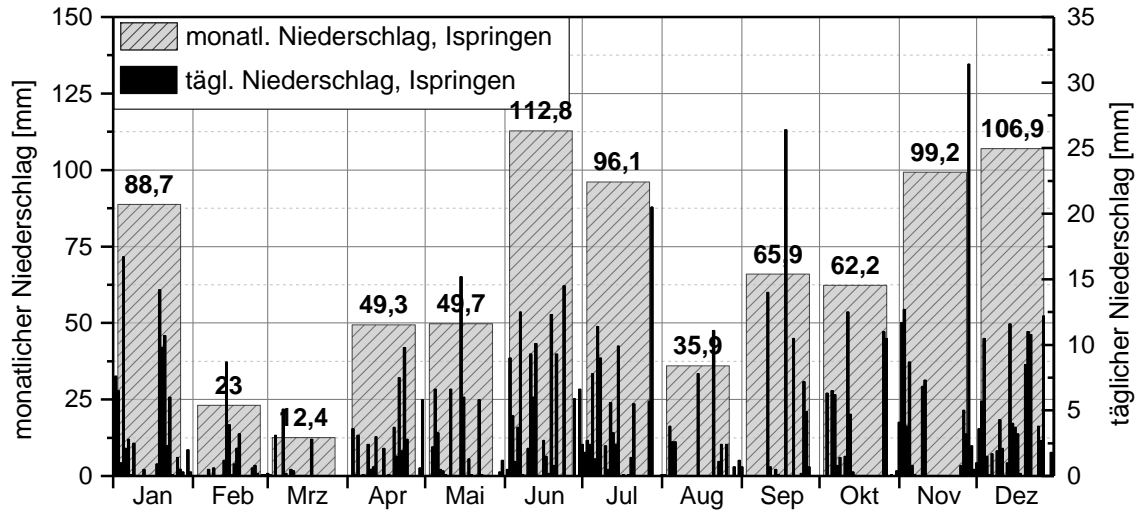


Abb. 5: Monatsniederschläge an der DWD-Station Ispringen. Die Jahresniederschlagssumme 2012 beläuft sich auf $N_a = 785,8$ mm.

Die Summenkurve der Niederschläge des Jahres 2012 beschreibt Maxima im Januar, Sommer und Spätjahr. Das Frühjahr ist von Februar bis Mai als eher trocken zu bezeichnen. Der niederschlagsreichste Monat ist der Juni mit knapp 113 mm. Insgesamt sind die niederschlagsreicheren Monate aber eher im 2. Halbjahr angesiedelt. Insgesamt ist im Jahr 2012 etwas mehr Niederschlag gefallen als im Vorjahr ($N_{a,2011} = 736,7$ mm).

Abb. 6 zeigt die Kurven der relativen Luftfeuchte und Temperatur gemessen um 12 Uhr MEZ.

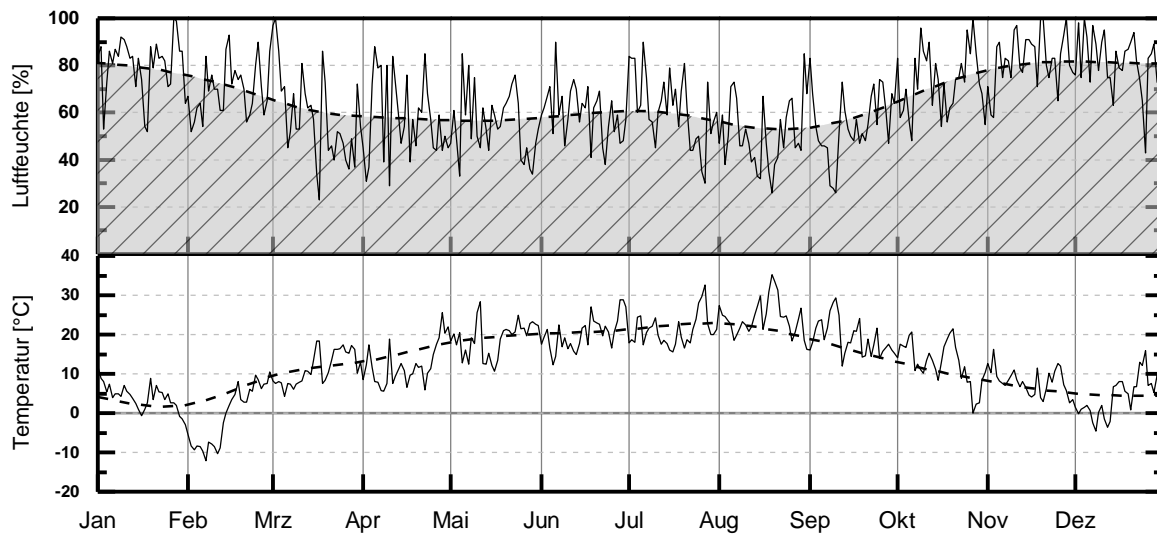


Abb. 6: Verteilung der täglichen Luftfeuchte und Temperatur (durchgezogene Linien) mit Monatsdurchschnittskurven (gestrichelte Linien) der DWD-Station Ispringen.

Vergleich der Niederschläge Hohberg und Ispringen

Da die Klimastation auf dem Hohberg regelmäßig ausfällt, muss auf Daten der Station Ispringen zurückgegriffen werden. Unklar ist, inwieweit der Niederschlag dieser beiden Stationen aufgrund der räumlichen Trennung direkt vergleichbar ist. In Abb. 7 sind die monatlichen Niederschläge der beiden Stationen gegeneinander aufgetragen. Die Werte von Januar bis Juli und der Dezember sind aufgrund eines langen Ausfalls der Station Hohberg nicht vergleichbar. Die Monate, die vermutlich richtig aufgezeichnet wurden sind August bis November. Der Unterschied an Niederschlagsmenge liegt hierbei zwischen 2% und 21%. Die Niederschlagsdaten der Station Hohberg im Sommer könnten zusätzlich noch durch Verstopfung durch Schnittgut verfälscht sein, da in dieser Jahreszeit regelmäßig gemäht werden muss. Insgesamt kann vermutet werden, dass generell in Ispringen mehr Niederschlag registriert wird.

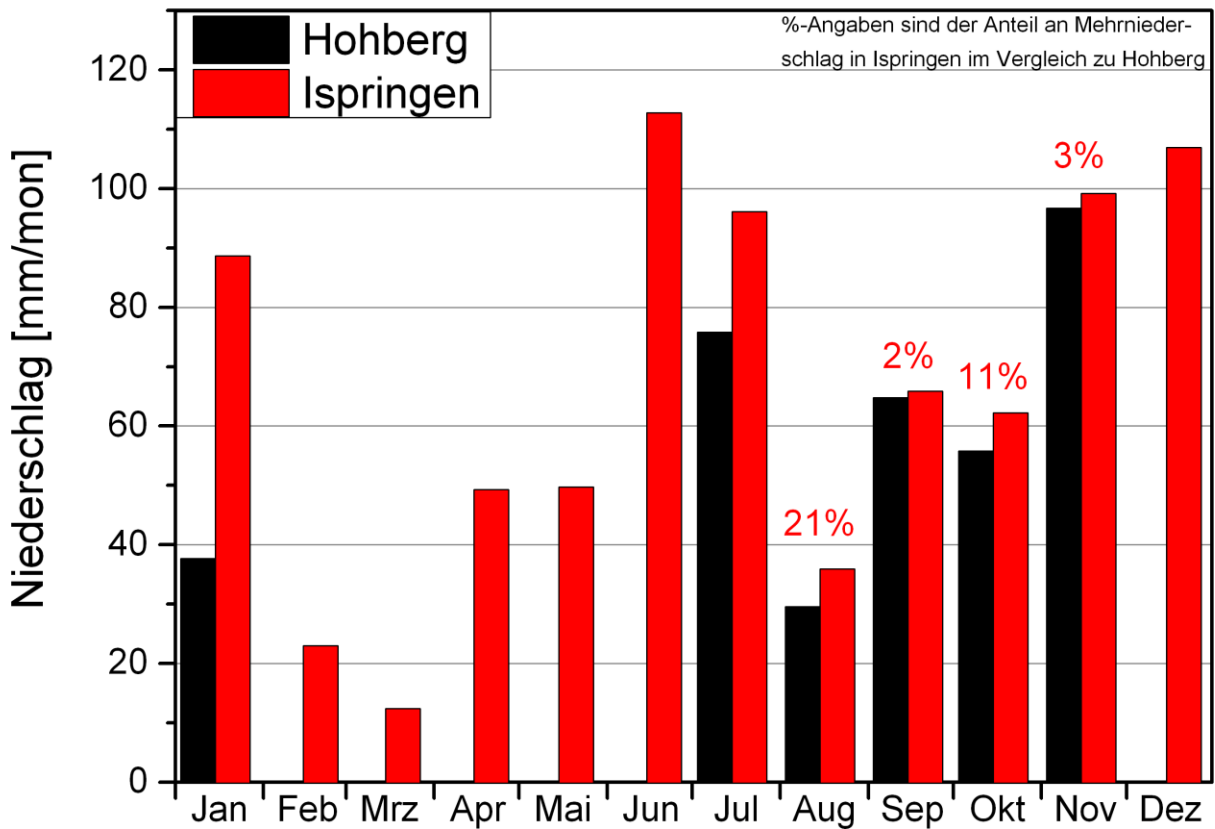


Abb. 7: Vergleich der Niederschlagsdaten Hohberg (schwarz) und Ispringen (rot). Der Unterschied bei den vergleichbaren Monaten (August bis November) beträgt zwischen 2% und 21%.

Betrachtet man allerdings die Differenzen der einzelnen Tageswerte (Abb. 8), so stellt man fest, dass diese sehr unterschiedlich ausfallen. Über die Ursache kann zu diesem Zeitpunkt nur spekuliert werden, da eine ausreichende Datengrundlage nicht vorhanden war. Vermutet wird ein starker Zusammenhang mit der Windstärke. Insbesondere unter Berücksichtigung der Exposition des Hanges als Ursache für die Deformation des Luftströmungsfeldes und die damit verbundene Schaffung von luv- und leeseitigem Niederschlag. Dieser Effekt sollte stark von der vorherrschenden Windstärke abhängen, insbesondere bei höheren Windgeschwindigkeiten.

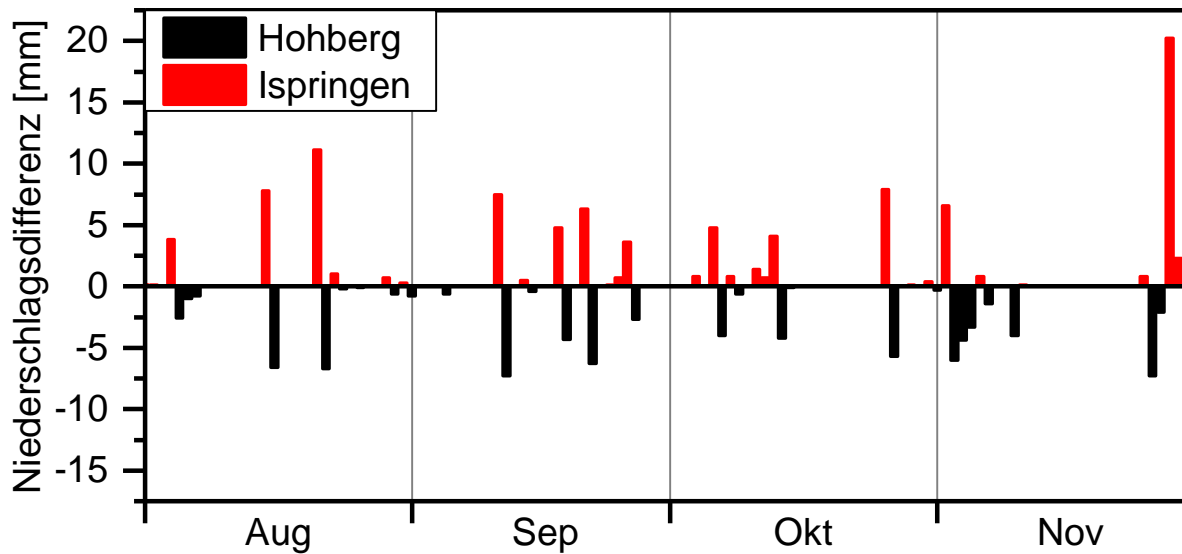


Abb. 8: Differenzen der Tagesniederschläge Ispringen (rot) - Hohberg (schwarz) bei den als vergleichbar erachteten Monaten August - September. Der Unterschied reicht bis zu fast dem 3-fachen an registriertem Niederschlag in Ispringen (Ende November).

3.3. Abflussregime

Um die Wirksamkeit der Dichtungskomponenten und des Gesamtsystems bewerten zu können, wurden die Abflüsse nach dem in Kapitel 2.1 beschriebenen Messprinzip einzeln erfasst und dokumentiert. Zur Bewertung der Langzeitdichtigkeit ist es sinnvoll, das Abflussverhalten mit früheren Untersuchungen zu vergleichen. Aus diesem Grund werden hier die Einzelabflüsse des Vorjahres 2011 verglichen, bevor die Gesamtwasserbilanz 2012 erstellt wird.

Die 4 zur Bilanzierung herangezogenen Abflusskomponenten sind (vgl. Abb. 3):

- Oberflächenabfluss - Q_{Surf}
- Abfluss des Oberen Kiesflächenfilters (OKF) - Q_{OKF}
- Kapillarschichtabfluss (KS) - Q_{KS}
- Abfluss aus der Kapillarbrechenden Schicht (KBS) - Q_{KBS}

3.3.1. Oberflächenabfluss (Q_{Surf})

Der Oberflächenabfluss (Abb. 9) hat sich mit gut 28,1 mm/a im Vergleich zum Vorjahr (28,5 mm/a) kaum geändert. Deutlich zu erkennen ist der direkte Zusammenhang zwischen Niederschlag und Oberflächenabfluss.

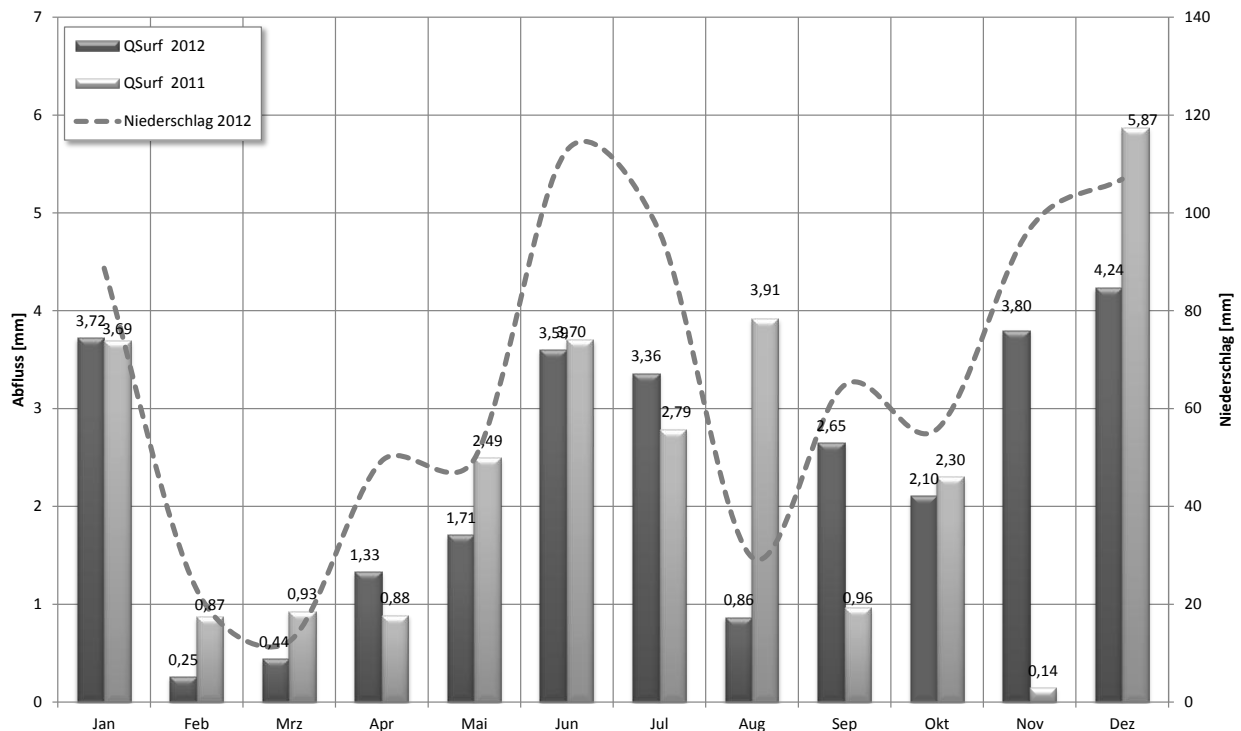


Abb. 9: Vergleich der Oberflächenabflüsse der Jahre 2011/2012 und Niederschlag 2012. Die Niederschlagsverteilung korreliert sehr gut mit dem Abflussverhalten des Q_{Surf} .

3.3.2. Oberer Kiesflächenfilter (OKF)

Der obere Kiesflächenfilter hat die Aufgabe als Flächendränage über der Asphalt dichtungsschicht zu wirken. Damit sollte dieser systembedingt in der Regel die größten Mengen Sickerwasser abführen. Die Messwerte der Untersuchungsmonate von Februar 2003 bis Dezember 2012 bestätigen in vollem Umfang diese Annahme. Der Flächenfilter wurde mit einer Mächtigkeit von 30 cm eingebaut, was sich bis jetzt aus hydraulischer Sicht als gut dimensioniert erwiesen hat. Auch das Messjahr 2012 zeigt dieses erwartete Verhalten, und liegt mit rund 195 mm Jahresabfluss etwas über dem Abflusswert von 2011 (149 mm) (Abb. 10). Mit Ausnahme des Monats November ist das Abflussverhalten der beiden Jahre überwiegend gleich. Dies liegt unter anderem an der Niederschlagsverteilung. Die erhöhten Abflüsse im Dezember 2011 setzen sich im Januar 2012, durch Einsetzen des Tauvorgangs im Boden, und damit vermehrtem mobilisiertem Restwasser, fort. Über die warmen Sommermonate ist der Abfluss dann rückläufig und kommt teilweise fast völlig zum Erliegen (April bis Oktober). Am Jahresende und mit sinkenden Temperaturen nimmt der Abfluss dann wieder zu. Da die Verdunstungsrate im Spätjahr geringer ist, fällt auch der Abfluss, in Korrelation mit dem Niederschlag, ab November dementsprechend hoch aus. Am meisten wird, wie im Vorjahr, im Dezember mit knapp 80 mm (2010: 77 mm) abgeführt. Die Monate mit den geringsten Abflüssen 2012 sind: Mai (0,65 mm), Juni (0,43 mm), August (0,28 mm) und Oktober (0,35 mm).

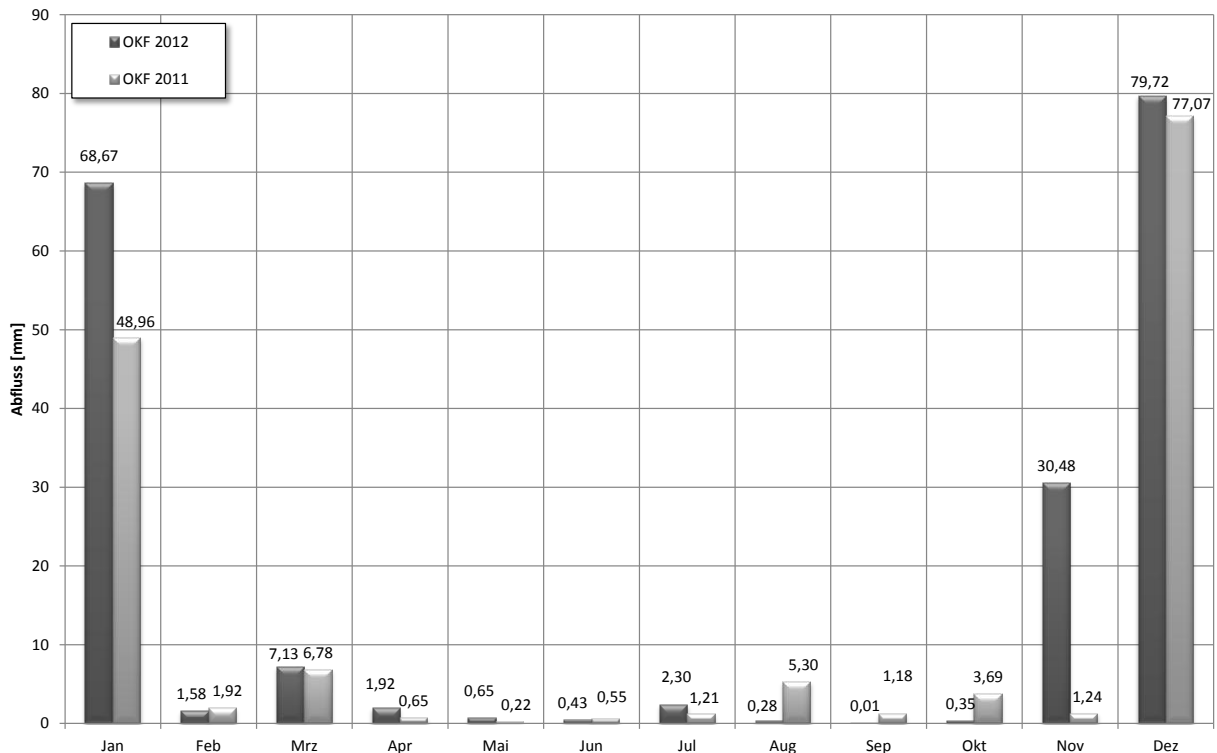


Abb. 10: Vergleich der Abflussregime des OKF für die Jahre 2011/2012.

3.3.3. Kapillarschicht (KS)

Die erste erfasste Abflusskomponente unterhalb der Asphaltabdichtungsschicht bildet die Kapillarschicht KS. Systembedingt sollte sie, bei einer angenommenen absolut dichten Asphaltsschicht, mit der Zeit immer weniger Wasser führen und schließlich, nachdem die mineralische Tragschicht und die KS leergelaufen wären, versiegen. Da durch den als absolut dicht angenommenen Asphalt kein Wasser von oben einsickern kann und die Schichten unterhalb des Asphaltes in einer wasserdichten Kunststoffdichtungsbahn (KDB) - Wanne eingebaut wurden, dürfte nach der Versiegung auch zu einem späteren Zeitpunkt kein Wasser aus der KS abfließen ($Q_{KS} = 0$).

Die im Laufe der 35 Monate ab Messbeginn 2003 registrierten KS – Abflusshöhen bestätigen nur teilweise die o.g. Erwartungen. So nimmt zwar der Q_{KS} während den Monaten Februar – Juni 2003 stetig ab. Die Abnahmerate verringert sich dann aber immer mehr und wird im Juni 2004 minimal. Erst im Dezember 2004 geht der Q_{KS} zum ersten Mal bis auf annähernd „0“ zurück (vgl. Jahresbericht 2004). Im Laufe des Jahres 2005 stieg der KS-Abfluss wieder leicht an, um dann in den letzten 6 Monaten erneut zurück zu gehen. Allgemein zeigte das Messjahr 2005 einen weiteren Rückgang des Kapillarschichtabflusses, jedoch ist dieser eindeutig noch nicht versiegt. Für weitere Informationen sei auf die Diskussion des Abflussverhaltens der ersten Beobachtungsjahre in den Jahresberichten 2003-2006 verwiesen.

Nachdem im Jahr 2008 durch Augenstein (2009) festgestellt wurde, dass der Abfluss der KBS nach Umsetzung des Messcontainers 2005 aufgrund einer Muldenbildung versiegt und mittlerweile, nach kontinuierlichem Befüllen und Überlaufen der Mulde, wieder ordnungsgemäß abgeführt wird, wurde versucht, den gleichen Effekt im Zuflussrohr des KS zu erzielen. Dazu wurde am 12.10.2009 in Anlehnung an die KBS (Jahresbericht 2008 / Augenstein 2009) das Abflussrohr mit einem Wasserschlauch befahren und geflutet. Der dadurch entstandene Mehrabfluss wurde in einem separaten Behältnis aufgefangen, wobei darauf geachtet wurde, dass nichts in den KS-Auffangbehälter gelangte. Ob diese Aktion einen merklichen Einfluss auf das Abflussverhalten hat, wird sich mit der Zeit und mit Vergleichen zu den Vorjahren

herausstellen (vor allem mit Werten von vor der Umsetzung des Messcontainers). Bis jetzt konnte jedoch kein wesentlicher Unterschied festgestellt werden.

In den Messjahren 2006 und 2007 waren noch Abflüsse unterhalb der Asphaltabdichtung zu erkennen (vgl. AGK-Jahresbericht 2006/2007). Das darauffolgende Jahr 2008 lag in der Summe leicht unterhalb der beiden Vorjahre (ca. 0,032 mm). Im Messjahr 2009 war eine leichte Zunahme der Abflüsse festzustellen. Dies lag hauptsächlich an den Monaten Juli bis September, die einen überdurchschnittlich hohen Abfluss zu verzeichnen hatten. Zwar wurde, wie oben erwähnt, in Analogie zur KBS 2008 das Abflussrohr der KS geflutet, jedoch geschah dies nur an einem Tag und dieser konnte als Fehlerquelle ausgeschlossen werden. Durch die doch eher niedrigen Werte und die hohen Wirkungsgrade der KS (siehe Kapitel 4.1) handelt es sich sehr wahrscheinlich nicht um große Undichtigkeiten oder Randumläufigkeiten. Vielmehr scheint Kondenswasserbildung den geringen Abfluss zu produzieren.

Der Trend zunehmender Abflüsse setzt sich auch im Jahr 2012 weiter fort (Abb. 11). Lag der Gesamtabfluss im Jahr 2011 bei etwa 0,3 mm, so liegt er mit 0,36 mm 2012 noch etwas höher. Generell sind die Abflüsse in den Wintermonaten höher. Vor allem der Dezember führt mit Abstand am meisten ab. Sieht man einmal von diesem Extrem ab, scheint der allgemeine Kurvenverlauf einen Anstieg in den Frühjahrsmonaten (Januar bis März) zu beschreiben und einem seichten Tailing bis ins Spätjahr. Leider gab es im Frühjahr einige technische Aussetzer der Ventile, so dass die Daten, wenngleich auch sorgfältig validiert und korrigiert, für einen Vergleich nicht sehr aussagekräftig sind. Trotzdem kann ein kontinuierlicher Anstieg des KS-Pegels in diesem Zeitraum eindeutig festgestellt werden.

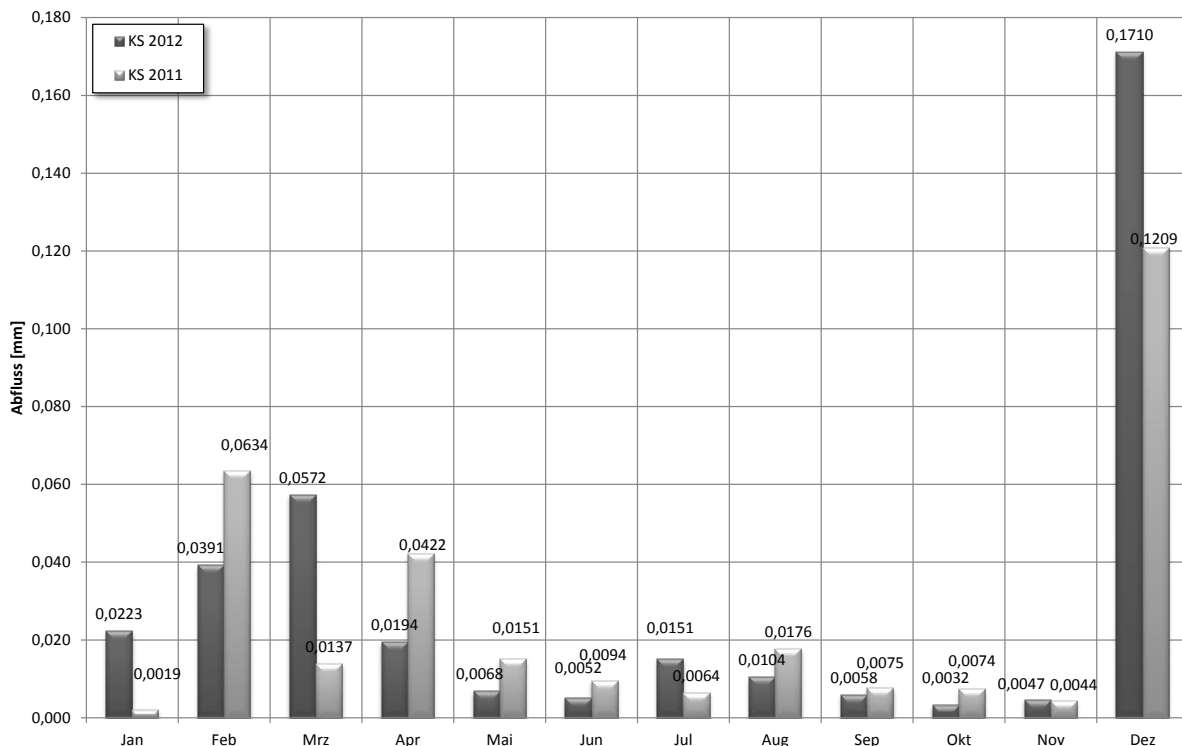


Abb. 11: Monatliches Abflussregime der Komponente „Kapillarschicht KS“ für die Messjahre 2011/2012.

3.3.4. Kapillarbrechende Schicht (KBS)

In **Abb. 12** sind die monatlichen Abflüsse der KBS von 2011 und 2012 verglichen. Auch dieses Mal gleicht das Abflussverhalten 2012 weitgehend dem von 2011. Die registrierten Abflüsse sind leicht gestiegen, von 0,22 mm (2011) auf 0,31 mm (2012). Vor allem Februar, Juli, November und Dezember stellen im Vergleich zum Vorjahr Ausreißer dar.

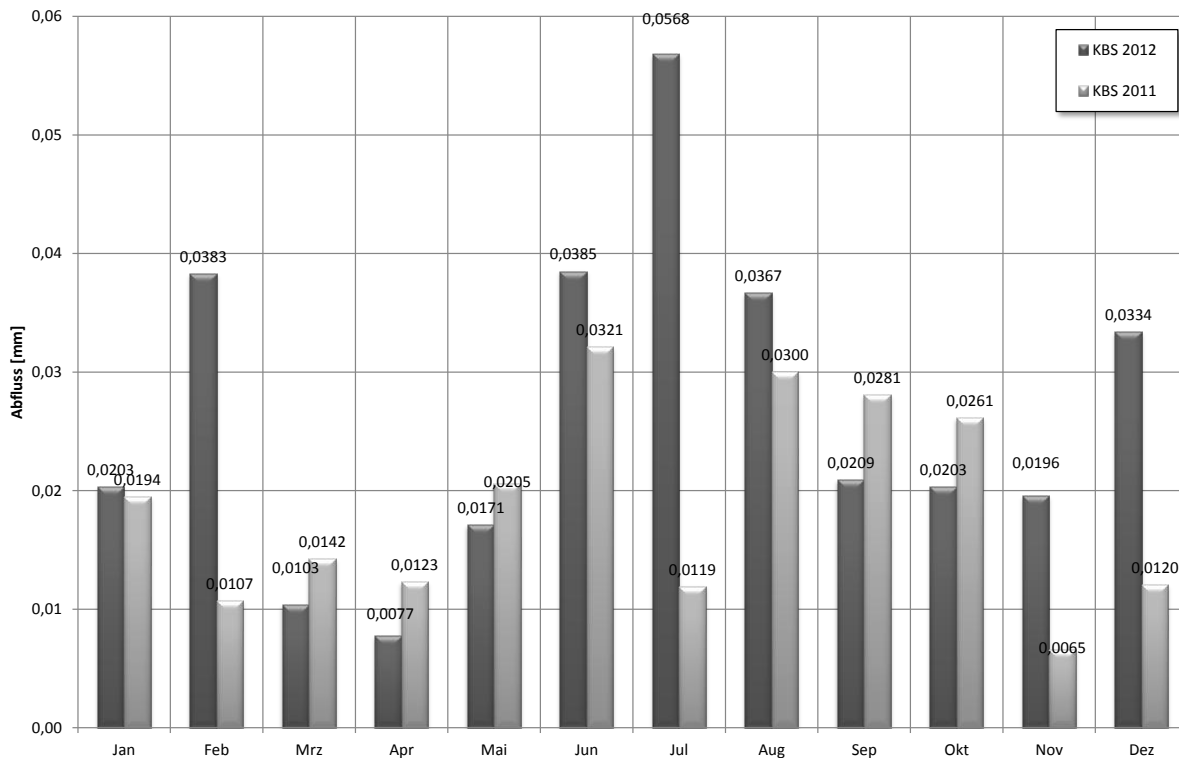


Abb. 12: Monatliches Abflussregime der Komponente KBS für die Messjahre 2011 und 2012.

3.3.5. Evapotranspiration ET_a

Die Evapotranspiration ET_a ist die Summe der Verdunstungsgrößen Interzeption, Bodenverdunstung (Evaporation) und Pflanzenverdunstung (Transpiration) (DIN 4049, 1994). Diese kann unter Berücksichtigung der im Boden zurückbleibenden Bilanzierungsgröße „Bodenfeuchteregime“ berechnet werden. Das Bodenfeuchteregime wurde für den Auftraggeber nur für die Beobachtungsjahre 2003 bis 2005 durch Neutronensondenmessungen bestimmt, jedoch für die Jahre 2006 - 2010 nicht in Auftrag gegeben. Im Jahr 2012 wurde eine Stichtagsmessung am 06.12. durchgeführt. Damit kann eine detaillierte Angabe der Evapotranspiration auch für 2012 nicht gemacht werden. In der Gesamt-Lysimeterbilanz kann ET_a damit nicht berücksichtigt werden und wird stattdessen als gemeinsames Glied von „ ET_a + Bodenfeuchte“ als Anteil des Niederschlags angegeben. Die Bodenfeuchtemessungen werden in Kapitel 5 separat dargestellt.

Die Evapotranspiration liegt für das Beobachtungsjahr 2012, zusammen mit der enthaltenen Bodenfeuchte, mit einem Anteil von 71,7% am Jahresniederschlag leicht unter dem Vorjahreswert (75,9%).

4 Bewertung der Oberflächenabdichtung

4.1. Lysimeter-Wasserhaushaltsbilanz für das Untersuchungsjahr 2012

Unter Berücksichtigung aller gemessenen Bilanzkomponenten, Q_{Surf} , Q_{OKF} , Q_{KS} , Q_{KBS} und $ET_a + \text{Bodenfeuchte}$ im direkten Vergleich mit dem Niederschlag N ergibt sich eine Lysimeter-Wasserhaushaltsbilanz für die einzelnen Kompartimente, die damit eine Bewertung des Oberflächenabdichtungssystems erlaubt. Der gemessene Gesamtabfluss am Lysimeter beträgt 28,3% des Jahresniederschlags 2012 während rund 72% als Evapotranspiration und Bodenfeuchte in die Bilanz eingehen. Die monatlichen %-Anteile der einzelnen Komponenten der Wasserbilanz für den Untersuchungszeitraum 2012 sind detailliert in Tabelle 1 aufgelistet.

Tab. 1: Monatliche Abflusswerte der Abdichtungskomponenten in mm/Mon und im prozentualen Verhältnis zum Jahresniederschlag N_a 2012.

Monat	Q_{Surf} [mm]	% von N	OKF [mm]	% von N	KS [mm]	% von N	KBS [mm]	% von N	Niederschlag [mm]
Januar	3,72	4,19	68,67	77,42	0,022	0,025	0,020	0,023	88,70
Februar	0,25	1,11	1,58	6,89	0,039	0,170	0,038	0,166	23,00
März	0,44	3,55	7,13	57,54	0,057	0,462	0,010	0,083	12,40
April	1,33	2,69	1,92	3,89	0,019	0,039	0,008	0,016	49,30
Mai	1,71	3,43	0,65	1,31	0,007	0,014	0,017	0,034	49,70
Juni	3,59	3,19	0,43	0,38	0,005	0,005	0,038	0,034	112,80
Juli	3,36	3,49	2,30	2,40	0,015	0,016	0,057	0,028	96,10
August	0,86	2,92	0,28	0,94	0,010	0,035	0,037	0,124	29,60
September	2,65	4,09	0,01	0,01	0,006	0,009	0,021	0,032	64,80
Oktober	2,10	3,77	0,35	0,62	0,003	0,006	0,020	0,036	55,80
November	3,80	3,93	30,48	31,52	0,005	0,005	0,020	0,020	96,70
Dezember	4,24	3,96	79,72	74,57	0,171	0,160	0,033	0,031	106,90
Gesamt- Abfluss	28,05	3,57	193,52	24,63	0,360	0,0458	0,320	0,0407	785,80
ET_a & Bodenfeuchte	563,55 mm								71,72% von N_a

Zum Vergleich werden auch die Ergebnisse der Vorjahre herangezogen, deren monatliche Abflüsse und Bodenwasserbilanzen im Anhang 2 - 11 eingesehen werden können. Für die Betrachtung der Gesamtbilanzierung des Abdichtungssystems wurde die jeweilige Jahressumme aus den Monatswerten ermittelt und mit dem Gesamtniederschlag in ein prozentuales Verhältnis gesetzt (Abb. 13).

Niederschlagsverteilung für das Jahr 2012 Gesamtniederschlag N = 785,8 mm

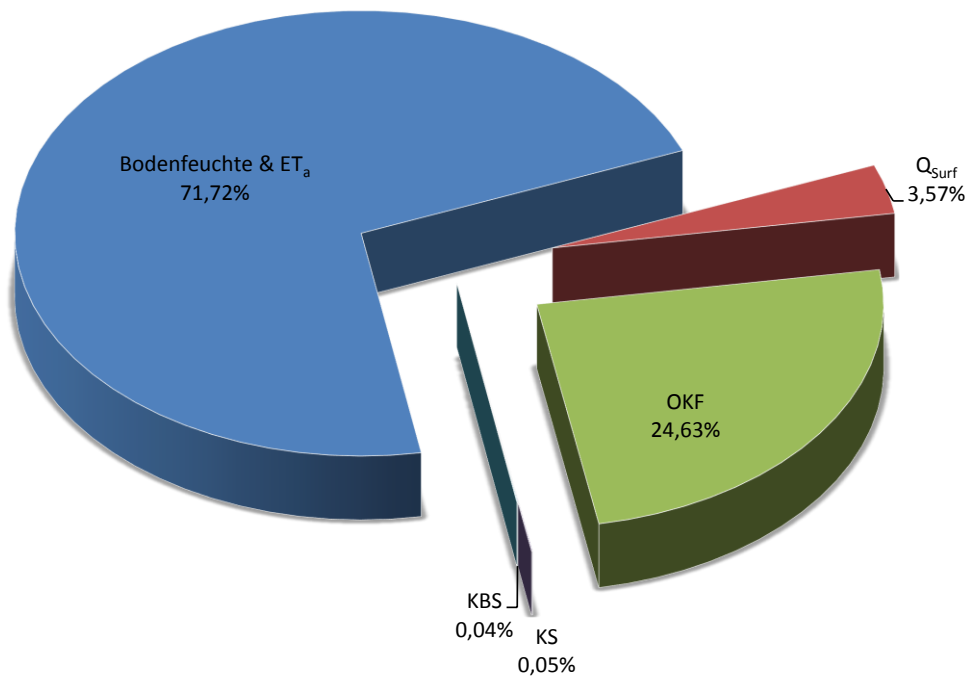


Abb. 13: Lysimeterbilanz 2012 der Schichtabflüsse als prozentualer Anteil am Jahresniederschlag 2012.

4.2. k_f -Werte 2012 und Wirkungsgrad W_{ges} des Gesamtsystems für den Untersuchungszeitraum 2003 – 2012

Aus den aufsummierten Abflüssen der Kapillarsperre lassen sich auf die einzelnen Monate und auf das Jahr Durchschnitts- k_f -Werte für die Asphalt dichtungsschicht errechnen (Tab. 2). Dazu wird der mm-Abfluss in m umgeformt und von einem Jahr bzw. Monat auf eine Sekunde umgerechnet ($k_f = [Weg/Zeiteinheit]$).

Tab. 2: Monatliche Abflüsse der KS, KBS und Gesamtabfluss (Ges) der Kapillarsperre sowie deren Jahressummen (Σ) und die daraus resultierenden monatlichen $k_{f,As}$ -Werte der Asphalt schicht und der Jahresschnitt (\emptyset).

	KS	KBS [mm]	Ges	$k_{f,As}$ [m/s]		KS	KBS [mm]	Ges	$k_{f,As}$ [m/s]
Jan	0,0223	0,0203	0,0426	$1,59 \cdot 10^{-11}$	Aug	0,0104	0,0367	0,0471	$1,76 \cdot 10^{-11}$
Feb	0,0391	0,0383	0,0774	$3,09 \cdot 10^{-11}$	Sep	0,0058	0,0209	0,0267	$1,03 \cdot 10^{-11}$
Mrz	0,0572	0,0103	0,0675	$2,52 \cdot 10^{-11}$	Okt	0,0032	0,0203	0,0235	$8,77 \cdot 10^{-12}$
Apr	0,0194	0,0077	0,0271	$1,05 \cdot 10^{-11}$	Nov	0,0047	0,0196	0,0242	$9,35 \cdot 10^{-12}$
Mai	0,0068	0,0171	0,0239	$8,92 \cdot 10^{-12}$	Dez	0,1710	0,0334	0,2044	$7,63 \cdot 10^{-11}$
Jun	0,0052	0,0385	0,0437	$1,68 \cdot 10^{-11}$	Σ/\emptyset	0,3601	0,3199	0,6800	$2,15 \cdot 10^{-11}$
Jul	0,0151	0,0568	0,0719	$2,68 \cdot 10^{-11}$					

Der Verlauf der berechneten k_f -Werte der letzten zwei Untersuchungsjahre ist überwiegend gleich (Abb. 14). Der durchschnittliche Wert für 2012 fällt mit $2,15 \cdot 10^{-11}$ m/s etwas schlechter aus als 2011 ($1,69 \cdot 10^{-11}$ m/s).

k_f -Werte der Abdichtung 2011/2012

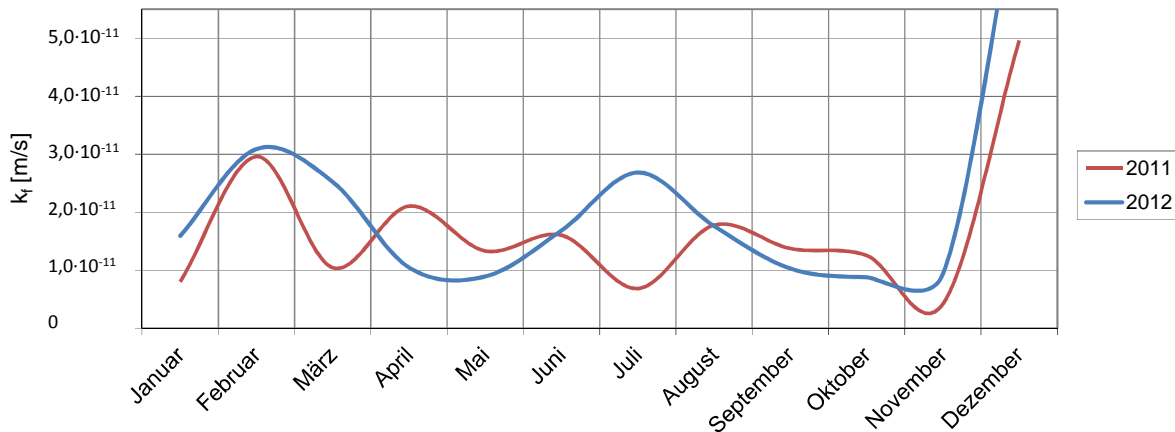


Abb. 14: Vergleich der k_f -Werte der Asphaltabdichtungsschicht für die Jahre 2011/2012.

Unter Berücksichtigung der Schichtmächtigkeit lässt sich mit dem k_f -Wert die Permittivität der Asphalt-schicht bestimmen. Bei der Annahme von einer Schichtmächtigkeit von 0,1 m beträgt die Permittivität:

$$\psi = \frac{k_f}{d} = 2,15 \cdot 10^{-10} [1/s]. \quad (1)$$

4.3. Wirkungsgrad

Über die Berechnung des monatlichen und jährlichen Gesamtwirkungsgrades des alternativen Oberflächenabdichtungssystems kann eine Bewertung der Langzeitentwicklung der Gesamtdichtigkeit durchgeführt werden.

Da das Abflussverhalten der Kapillarbrechenden Schicht (KBS) die Gesamtsystemdichtigkeit eines Systems widerspiegelt (Kap. 3.3.4) wird diese Komponente üblicherweise zur Berechnung des Wirkungsgrades eines Abdichtungssystems herangezogen.

Damit gilt für einen Gesamtwirkungsgrad W_{ges} :

$$W_{ges} = \frac{(N - Q_{KBS})}{N \cdot 100} [\%] \quad (2)$$

Der Wirkungsgrad der Kapillarsperre ist im Vergleich zum Vorjahr gleich geblieben (Abb. 15). Allerdings fallen die 99,95% jahresdurchschnittlicher Wirkungsgrad etwas zu hoch aus. Da für die Berechnungen zu großen Teilen der Niederschlag der Wetterstation Ispringen herangezogen wurden, und diese, wie in Kapitel 3.2 erörtert, durchschnittlich höher ausfallen, sollte der reelle Wirkungsgrad etwas schlechter angesetzt werden. Das gleiche gilt auch für das Jahr 2011, in dem die Berechnungen auf dem gesamten Niederschlag von Ispringen beruhen.

Insgesamt unterliegen die Jahre nach dem Umsetzen des Messhauses (ab ca. 2009) einem einheitlichen Trend. Allerdings sollte, selbst wenn man den Fehler durch den Niederschlag berücksichtigt, der Wir-

kungsgrad bei immer noch über 99% resultieren. Eine tabellarische Darstellung aller berechneten Wirkungsgrade (inklusive 2012) findet sich in Anhang 12.

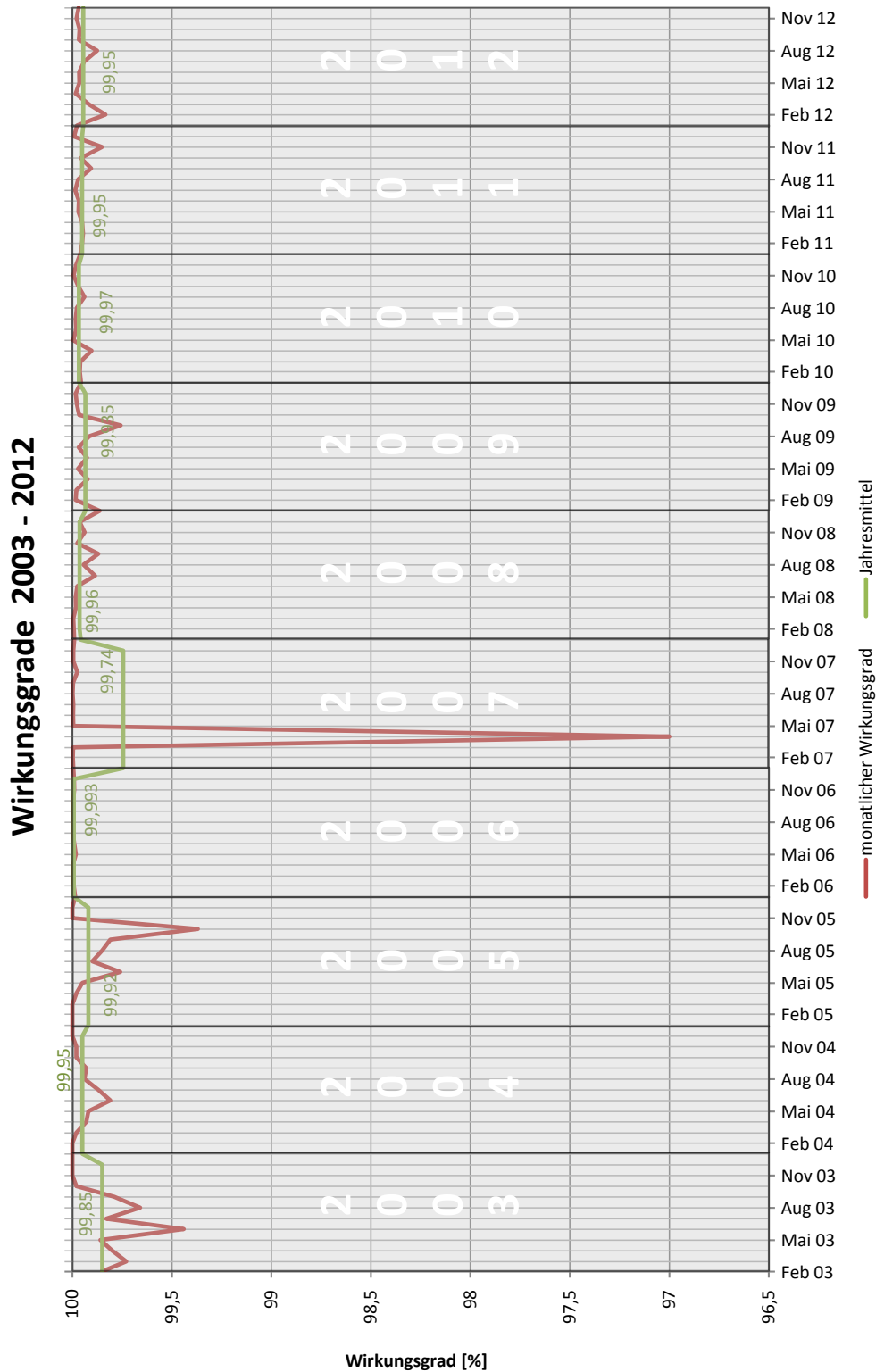


Abb. 15: Grafik über die Wirkungsgrade aus dem Messungszeitraum 2003 - 2012. Die rote Kurve stellt die Monatswerte und die grüne die Jahresmittel dar. Die Spitze im April 2007 resultiert aus dem damaligen Mangel an Niederschlag (0,04 mm).

5 Neutronensondenmessung zur Bestimmung der Bodenfeuchte

Im Jahr 2012 konnten aufgrund technischer und bürokratischer Umstände nur an einem Stichtag Bodenfeuchtergebnisse gewonnen werden (Abb. 16). Zum Vergleich sind in Abbildung 16 noch 4 weitere Messungen des Jahres 2011 aufgetragen. Die Bodenfeuchte weist an der Stichtagsmessung vom 6.12.2012 einen hohen Sättigungsgrad auf. Dies passt sehr gut mit den erhöhten Abflüssen des OKF in diesem Zeitraum zusammen (vgl. Abb. 10, November/Dezember).

Auffällig ist der offensichtlich relativ erhöhte Bodenfeuchtegehalt in Po in einer Tiefe zwischen 130 bis 170 cm, welcher sich in den beiden unteren Messstellen zwar auch beobachten lässt, allerdings nur minimal ausgeprägt ist. Dieses Phänomen deckt sich auch mit den Beobachtungen des letzten Jahres: In den betreffenden Schichten der oberen Messstelle scheint die Feuchte in einem höheren Maß gespeichert zu werden, als in den untenliegenden Messpunkten (vgl. Jahresbericht 2011, Kapitel 5). Veranschaulichen lässt sich dies auch an der Gesamtausdehnung der Kurven der einzelnen Messstellen in einer Messtiefe von 20 bis 130 cm. In Po liegen die Kurven überwiegend über der Linie von 30% und reichen tiefenabhängig sogar bis an 40% heran. In Pm tendieren die Kurven mehr Richtung 30% wohingegen in Pu der Großteil der Kurven sogar unterhalb 30% liegt. Über die Ursache kann an dieser Stelle nur spekuliert werden. Möglicherweise liegt dies an einem unterschiedlichen Verdichtungsgrad beim Einbau der Rekultivierungsschicht oder an unterschiedlich ausgeprägten Setzungserscheinungen. Dies wiederum würde im oberen Bereich ein höheres Porenvolumen und damit eine erhöhte Speicherkapazität bedeuten.

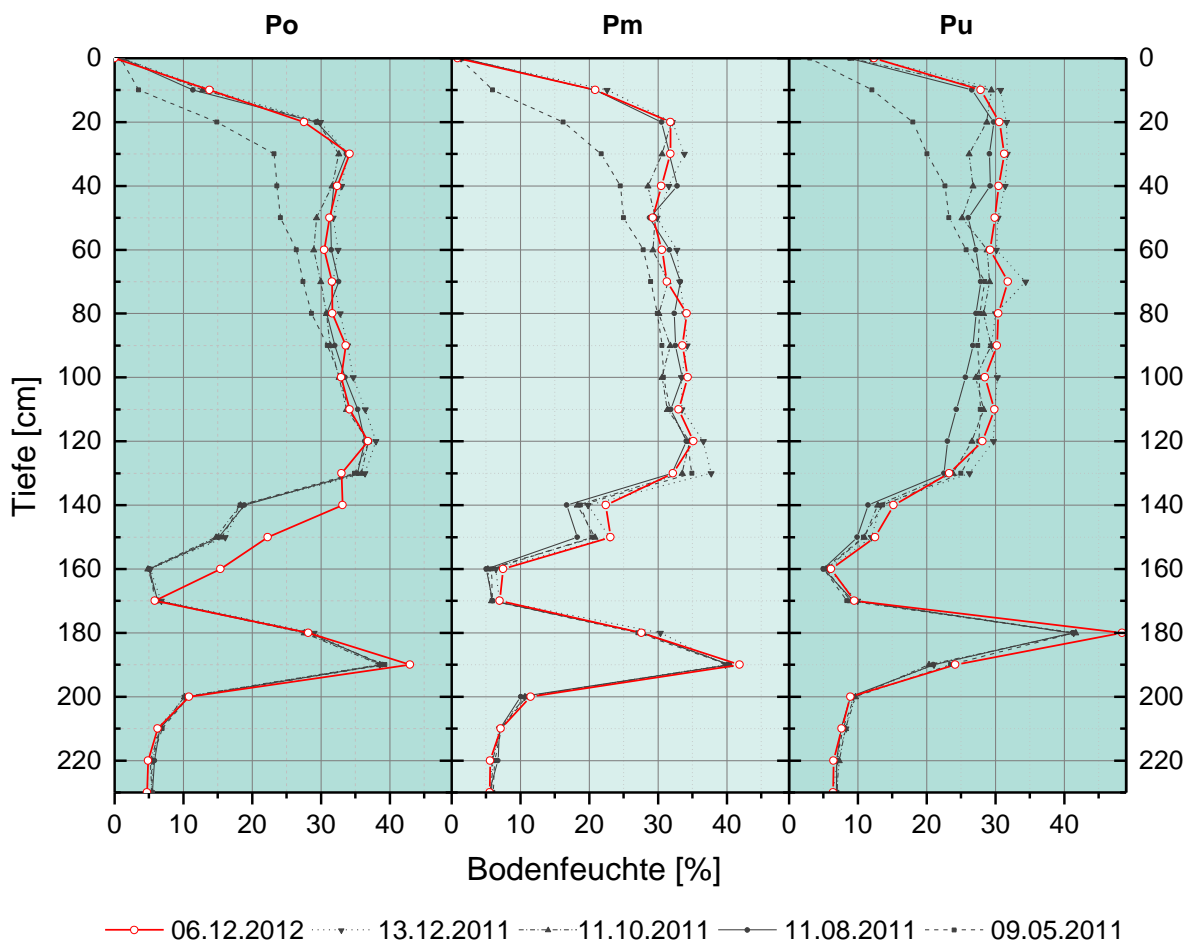


Abb. 16: Darstellung der Bodenfeuchteprofile für die Messstellen Po (links), Pm (mitte) und Pu (rechts).

Die scheinbar erhöhten Werte im Bereich der Asphaltenschicht in einer Tiefe von 180 bis 200 cm, liegen an der Messmethode. Da die Neutronensonde auf dem Prinzip der elastischen Streuung von Neutronen an Atomen gleicher Masse beruht, wird im Bereich der Asphaltenschicht durch die erhöhte Anzahl an Wasserstoffatomen der Schicht selbst, eine erhöhte scheinbare Feuchte registriert. Der reale Wert dürfte eher im Bereich der Messtiefen von 160/170 und 210/220 cm liegen.

6 Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Das Amt für Stadtentsorgung (Technische Dienste) der Stadt Pforzheim unterhält im Rahmen der Sicherung und Sanierung der Hausmülldeponie Pforzheim Hohberg eine zur TAsi alternative Oberflächenabdichtung. Um die Wirksamkeit der Dichtungskomponenten und des Gesamtsystems bewerten zu können wird eine Bauwerksüberwachung mittels eines Großlysimeters durchgeführt. Ziel der Untersuchungen unter Zuhilfenahme des Lysimeters ist eine kontinuierliche und lückenlose Erfassung aller Abflüsse innerhalb der einzelnen Schichten der Abdichtung mit einer anschließenden Bewertung des hier zum Einsatz gekommenen alternativen Oberflächenabdichtungssystems und einer Erstellung von Wirkungsgraden, insbesondere im Hinblick auf das hydraulische Verhalten der Asphaltabdichtung und der Langzeitsystemdichtigkeit.

Das Großlysimeter befindet sich im nordwestlichen Bereich des Bauabschnitts I der Deponieoberflächenabdichtung, dessen Aufbau dem des Bauabschnittes entspricht und durch eine 1,5 m Rekultivierungsschicht mit unterlagernder Dränage (Oberer Kiesflächenfilter, 0,3 m), einer Asphaltabdichtung (7,5 – 15 cm) und einer 0,3 m mächtigen Kapillarsperre gekennzeichnet ist. Zur Abflussbilanzierung stehen die vier Abflusskomponenten Oberflächenabfluss (Q_{Surf}), der Abfluss des Oberen Kiesflächenfilters (Q_{OKF}), der Kapillarschichtabfluss (Q_{KS}) und der Abfluss aus der Kapillarbrechenden Schicht (Q_{KBS}) zur Verfügung. Die Messwerterfassung beinhaltet Daten aus dem Zeitraum April 2003 bis Dezember 2012.

Als begleitende Maßnahme zur Bauwerksüberwachung des Lysimeters betreute der Lehrstuhl für Angewandte Geologie der Universität Karlsruhe bis zum Messjahr 2006 die Klimastation, welche durch einen Blitzeinschlag im Juli 2006 beschädigt wurde. Seitdem erfolgt die meteorologische Datenerfassung durch die Stadt Pforzheim, welche die Daten für den Bearbeitungszeitraum 2012 des AGW zur Verfügung gestellt hat. Dies gilt auch für die verwendeten Daten der Wetterstation Pforzheim-Ispringen, da die Hohberg-Station im Jahr 2012 keine plausiblen Daten geliefert hat. Ein detaillierter Vergleich der Niederschläge ergibt allerdings nicht unerhebliche Abweichungen der beiden Standorte. Im Monatsmittel sind diese Unterschiede weniger gravierend, so dass die Niederschläge in erster Näherung für die Bilanzierung verwendet werden können. Jedoch lässt sich ein detaillierter Vergleich von Abflüssen und Niederschlägen nur unzureichend durchführen.

Der Vergleich des Abflussverhaltens am Lysimeter mit den Niederschlagswerten zeigt eine gute Korrelation mit dem Oberflächenabfluss Q_{Surf} . Erwartungsgemäß zeigt der obere Kiesflächenfilter OKF systembedingt die größten Mengen an Sickerwasser (~194 mm), da er als Flächendränage über der Asphaltabdichtungsschicht wirkt. Der Flächenfilter wurde mit einer Mächtigkeit von 30 cm eingebaut, was sich bis jetzt aus hydraulischer Sicht als gut dimensioniert erwiesen hat.

Die erste erfasste Abflusskomponente unterhalb der Asphaltabdichtungsschicht bildet die Kapillarschicht KS, die, bei einer absolut dichten Asphaltenschicht, nach Fertigstellung mit der Zeit immer weniger bis kein Wasser führen sollte. Die im Laufe der ersten Monate registrierten KS – Abflusshöhen können durch gravitativ abgeführtes Einbauwasser erklärt werden. Das Messjahr 2005 zeigte dann einen weiteren Rückgang des Kapillarschichtabflusses und 2006 - 2008 wurden nur noch geringe Abflussmengen unterhalb der Asphaltenschicht gemessen.

Die laterale Abflussmenge der Kapillarbrechenden Schicht KBS spiegelt die Gesamtsystemdichtigkeit wider und entspricht letztendlich der potentiellen Deponiesickerwasserneubildung. Die Analyse der KBS - Abflusswerte 2003 bis 2005 ergab sehr geringe Abflusswerte mit jeweils zunehmenden Tagesabflusshöhen in den Sommer- bis Herbstmonaten. Aufgrund der bautechnisch bedingten Umsetzung des Messcontainers und der damit verbundenen Verkippung des Messhauses in den Jahren 2006 und 2007 sind fast keine nennenswerten Abflüsse registriert worden, da durch die Versetzung auch der Winkel der Zuflussrohre verstellt wurde. Die entstandene „Mulde“ hat sich (zumindest für den Zufluss der KBS) über einen

Zeitraum von ca. 2 Jahren gefüllt und ausgeglichen. Seit dem Sommer 2008 wird wieder Abfluss gemessen, der mengenmäßig im Bereich der Vorjahre (vor Umsetzung des Containers) liegt.

Im Jahresbericht 2005 wurde die Hypothese formuliert, dass durch eine Neuverlegung der Verbindungsrohre im Oktober 2005 die KBS - Zuleitung gehoben wurde und das ganze Sickerwasser, das sich in tiefer gelegenen Rohrabschnitten gesammelt hatte, innerhalb kürzester Zeit der Messvorrichtung zugeführt wurde. Dies konnte durch die Beobachtungen der folgenden Messjahre bestätigt werden.

Im Jahr 2012 erreicht die Kapillarsperre einen Wirkungsgrad von ca. 99,95% und liegt damit auf dem Wert des Vorjahres. Vergleicht man diesen Wert mit dem Zeitpunkt nach 2008, nachdem die KBS wieder ordentlich abführt, so scheint sich der Wirkungsgrad in diesem Bereich einzupendeln (99,95% entsprechen auch exakt dem langjährigen Mittel von 2008 – 2012)

Eine Befüllung der KS-Mulde fand im Spätjahr 2009 nach dem Vorbild der vollgelaufenen KBS-Mulde statt, um damit eine erhoffte Normalisierung dieses Abflusses zu erreichen. Allerdings kann bis jetzt noch keine qualitative Aussage über das Verhalten des KS-Abflusses getroffen werden. Nach aktuellem Stand führt die KS seit 2011 vermehrt im Frühjahr, also zu einer Zeit der Schneeschmelze und höheren Niederschlägen bei geringen Verdunstungsraten, ab.

Mit einer Deponiesickerwasserneubildungsrate von 0,05% des Niederschlages 2012, ist das Gesamtsystem als sehr positiv zu bewerten. Die Dimensionierung der einzelnen Schichten hat sich über den Messzeitraum bewährt. Durch die relativ flache Lage des Testfeldes, findet nur ein geringer hangparalleler Fluss in der Rekultivierungsschicht statt. Niederschlag versickert dadurch schneller vertikal und wird weniger verdunstet. Dies resultiert in einer sehr hohen Abflussrate des OKF, welcher insgesamt, wenn auch in gedämpfter und diffuser Form, schneller auf Niederschlagsereignisse reagiert, als vergleichbare Systeme an steileren Hanglagen. Da die Konvektionssperre den Anspruch hat, zu 100% abzudichten, bleibt noch zu klären, wo die Ursachen für die knapp 0,1% liegen, die trotzdem unterhalb der Asphaltsschicht gesammelt werden. In einem ersten Schritt könnte eine Kamerabefahrung der Zulaufrohre gemacht werden, um die postulierte Mulde zu untersuchen und bauliche Mängel, wie z.B. abgescherte Rohre, auszuschießen.

Dr. N. Göppert
Projektleitung

Dipl.-Geol. M. Augenstein
Sachbearbeiter

7 Literatur und bisherige Berichte

- AUGENSTEIN, M., (2009): Hydrogeologische Untersuchungen zum Wasserhaushalt der Deponie Pforzheim Hohberg mittels Lysimeter und numerischer Modellierung Diplomarbeit 2009 am Institut für Angewandte Geologie, Universität Karlsruhe.
- BREH W., GIURGEA V. & HÖTZL H. (2002): Langzeitbeobachtung zum Verhalten einer verstärkten mineralischen Dichtungsschicht in einer kombinierten Oberflächenabdichtung. – In: Schriftenreihe Höxteraner Berichte zu angewandte Umweltwissenschaften der Abteilung Höxter der Fachhochschule Lippe und Höxter, 03, S.75-89, Höxter.
- GIURGEA V., HÖTZL H., BREH W. & GERLACH A. (2003): Neutronensondenmessungen der Bodenfeuchte zur Langzeitüberwachung von Deponieoberflächenabdichtungen. – Beitrag (Artikel und öffentlicher Vortrag) zum Workshop *Innovative Feuchtemessung in Forschung und Praxis*, 3.-4. Juli 2003, Karlsruhe, veröffentlicht in der Zeitschrift „Boden und Wasser“, Aedificatio Verlag, Freiburg (im Druck).
- INSTITUT FÜR ANGEWANDTE GEOWISSENSCHAFTEN, FACHBEREICH HYDROGEOLOGIE (2009): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Pforzheim- Hohberg – Oberflächenabdichtung: Testfeld LYSIMETER – Jahresabschlussbericht zur messtechnischen Bauwerksüberwachung mittels Lysimeter für den Messzeitraum Januar – Dezember 2008 [Oktober 2009, unveröffentlichter Bericht, CD]
- INSTITUT FÜR ANGEWANDTE GEOWISSENSCHAFTEN, FACHBEREICH HYDROGEOLOGIE (2010): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Pforzheim- Hohberg – Oberflächenabdichtung: Testfeld LYSIMETER – Jahresabschlussbericht zur messtechnischen Bauwerksüberwachung mittels Lysimeter für den Messzeitraum Januar – Dezember 2009 [September 2010, unveröffentlichter Bericht, CD]
- INSTITUT FÜR ANGEWANDTE GEOWISSENSCHAFTEN, FACHBEREICH HYDROGEOLOGIE (2011): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Pforzheim- Hohberg – Oberflächenabdichtung: Testfeld LYSIMETER – Jahresabschlussbericht zur messtechnischen Bauwerksüberwachung mittels Lysimeter für den Messzeitraum Januar – Dezember 2010 [Juni 2011, unveröffentlichter Bericht, CD]
- INSTITUT FÜR ANGEWANDTE GEOWISSENSCHAFTEN, FACHBEREICH HYDROGEOLOGIE (2012): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Pforzheim- Hohberg – Oberflächenabdichtung: Testfeld LYSIMETER – Jahresabschlussbericht zur messtechnischen Bauwerksüberwachung mittels Lysimeter für den Messzeitraum Januar – Dezember 2011 [April 2012, unveröffentlichter Bericht, CD]
- LEHRSTUHL FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE (2002): Hausmülldeponie Pforzheim – Hohberg, Lysimeter Testfelder, Anforderungsprofil.– 8 S. [April 2002, unveröffentlicht].
- LEHRSTUHL FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE (2002): Hausmülldeponie Pforzheim – Hohberg, Lysimeter Testfelder, Fachtechnische Begleitung und Überprüfung der Bauplanung.– 5 S., 3 Abb., [April 2002, unveröffentlicht].
- LEHRSTUHL FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE (2004a): Hausmülldeponie Pforzheim – Hohberg, Fachliche Begleitung der Bauphase des Lysimeter - Testfeldes, September 2002 – Dezember 2003, Bericht und Fotodokumentation.– II + 177 S., 436 Abb., [Februar 2004, unveröffentlicht].

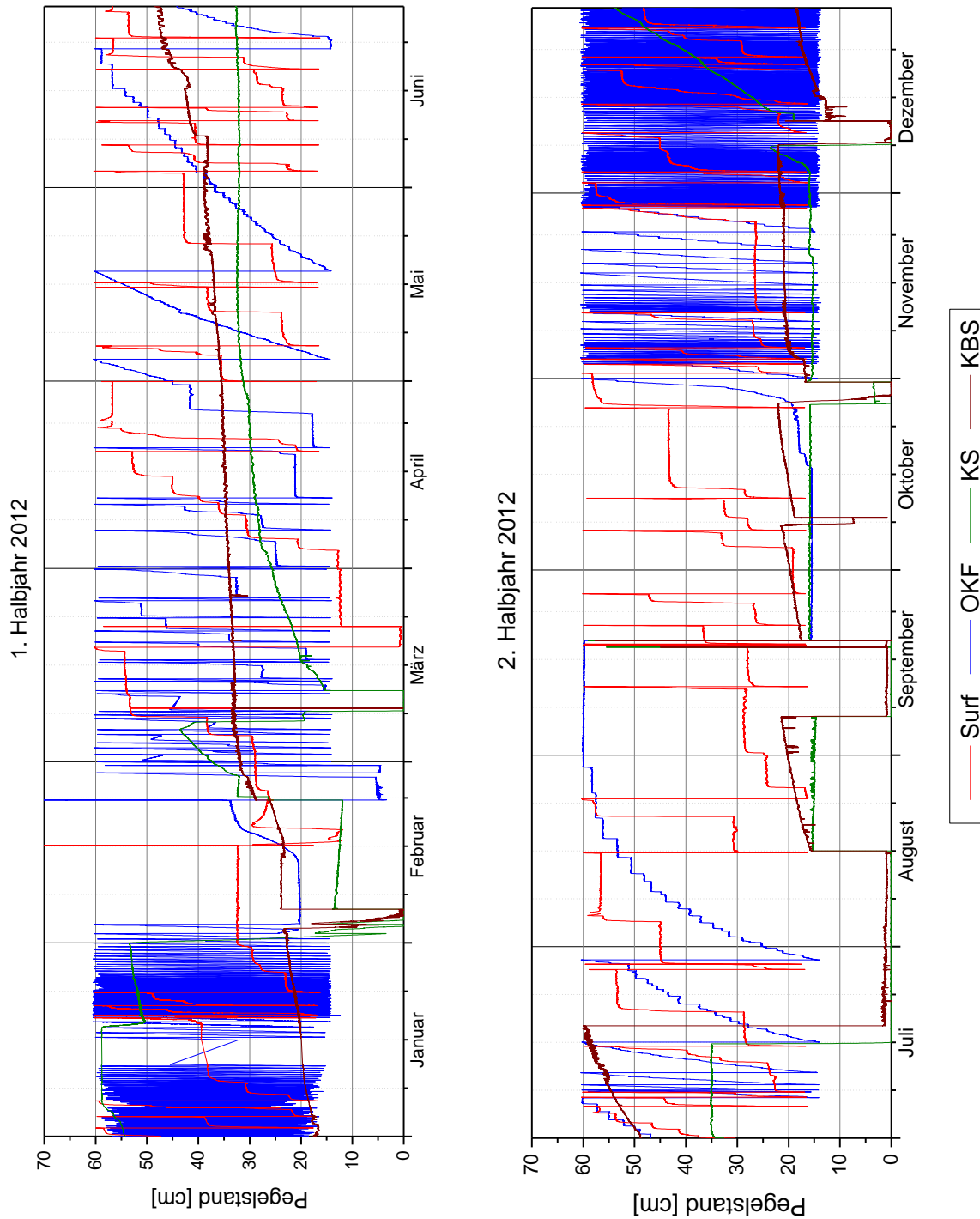
- LEHRSTUHL FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE (2004b): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Hohberg – Oberflächenabdichtung. Testfeld-LYSIMETER. Jahresabschlussbericht zur messtechnischen Bauwerksüberwachung mittels Lysimeter für die Messperiode Februar bis Dezember 2003. – III + 23 S., 12 Abb., [April 2004, unveröffentlicht, Bericht].
- LEHRSTUHL FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE (2004c): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Hohberg – Oberflächenabdichtung. Testfeld-LYSIMETER. Jahreszwischenbericht zur messtechnischen Bauwerksüberwachung mittels Lysimeter für den Untersuchungszeitraum Januar bis Juni 2004. – III + 24 S., 10 Abb., [Juli 2004, unveröffentlicht, Bericht].
- LEHRSTUHL FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE (2005): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Hohberg – Oberflächenabdichtung. Testfeld-LYSIMETER. Jahresabschlussbericht zur messtechnischen Bauwerksüberwachung mittels Lysimeter für den Messzeitraum Januar bis Dezember 2004. – III + 22 S., 9 Abb., [April 2005, unveröffentlicht, Bericht].
- LEHRSTUHL FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE (2006a): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Hohberg – Oberflächenabdichtung. Erfassung und Dokumentation der Messdaten der Klimastation. – Messzeitraum: Januar-Dezember 2005, [April 2006, unveröffentlicht, Bericht].
- LEHRSTUHL FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE (2006b): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Hohberg – Messzeitraum: Januar-Dezember 2005, [April 2006, unveröffentlicht, Bericht].
- LEHRSTUHL FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE (2007): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Pforzheim-Hohberg – Erfassung und Dokumentation der Messdaten des Lysimeters und der Klimastation für das Messjahr 2006, [Juni 2007, unveröffentlicht, Bericht, CD].
- LEHRSTUHL FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE (2008a): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Pforzheim-Hohberg – Oberflächenabdichtung: Testfeld-LYSIMETER - Jahresabschlussbericht zur messtechnischen Bauwerksüberwachung mittels Lysimeter für den Messzeitraum Januar - Dezember 2006 [November 2008, nachbeauftragter, unveröffentlicher Bericht, CD].
- LEHRSTUHL FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE (2008b): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Pforzheim- Hohberg – Oberflächenabdichtung: Testfeld_LYSIMETER – Jahresabschlussbericht zur messtechnischen Bauwerksüberwachung mittels Lysimeter für den Messzeitraum Januar – Dezember 2007 [Dezember 2008, nachbeauftragter, unveröffentlicher Bericht, CD]
- LEHRSTUHL FÜR ANGEWANDTE GEOLOGIE (2010): Stadt Pforzheim. Hausmülldeponie Pforzheim-Hohberg – Erfassung und Dokumentation der Messdaten des Lysimeters und der Klimastation für das Messjahr 2009, [September 2010, unveröffentlicht, Bericht, CD].
- LINERT, U. (1995): Verhalten von Pflanzenwurzeln in Oberflächenabdichtungssystemen.- in EGLOFFSTEIN, TH. & BURKHARDT, G. (Hrsg.) (1995): Oberflächenabdichtungen für Deponien und Altlasten- Abdichtung oder –Abdeckung -Schr. Angew. Geologie Karlsruhe, 37: 15-1 bis 15-13; Karlsruhe.
- MATTHEß, G. &UBELL, K. (1983): Allgemeine Hydrogeologie - Grundwasserhaushalt. - Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 1: 438 S.; Borntraeger Verlag, Berlin, Stuttgart.
- SCHEFFER&SCHACHTSCHABEL (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. - 491 S., 13. durchgesehene Auflage; Enke Verlag, Stuttgart.

SCHRÖDER, P. & BERGER, K (2004): Das Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Modell – Benutzerhandbuch für die deutsche Version 3. 4., überarbeitete Auflage zur deutschen HELP-Version 3.80 D, 117 S., Institut für Bodenkunde der Universität Hamburg, Hamburg

TA SIEDLUNGSABFALL (1993): Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen. - Bundesanzeiger: 117 S.; Köln.

8 Anhang

Anhang 1: Darstellung der Wasserstände der einzelnen Lysimeterabflüsse über das Messjahr 2012.



Anhang 2: Tabelle zur Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse [mm] und der Bodenfeuchte 2003. N: Niederschlag, S: Sonderinput, Σ : Summe der Abflüsse, % N: prozentualer Anteil der Abflusssummen am Niederschlag, Diff: Bodenfeuchtedifferenz, ET_a : Evapotranspiration

2003	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ	% N
N	-	24,2	25,5	34,0	50,7	25,1	65,0	32,9	36,8	93,8	43,1	30,4	461,50	
S											20,0	10,0	30,00	
Q_{Surf}				1,01	1,72	0,40	9,78	0,99	3,54	4,27	3,01	1,27	25,99	5,6
Q_{OKF}		35,39	11,65	5,79	5,10	1,45	7,39	0,60	1,34	8,08	26,04	10,51	113,34	24,56
Q_{KS}		0,63	0,51	0,37	0,33	0,20	0,20	0,19	0,11	0,09	0,09	0,08	2,79	0,60
Q_{KBS}		0,04	0,07	0,07	0,07	0,14	0,11	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00	0,60	0,13
Diff		-16,94	0,40	-6,62	-20,09	-43,68	-43,94	-23,10	14,30	60,91	32,06	25,95	-20,8	-4,50
ET_a		5,1	12,9	33,4	63,6	66,6	91,5	54,1	17,5	20,4	1,9	2,6	369,5	80,08

Anhang 3: Tabelle zur Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse [mm] der Bodenfeuchte 2004. Zeichenerklärung siehe Anhang 2.

2004	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ	% N
N	192,2	35,5	25,4	27,7	50,5	38,4	72,8	94,0	49,0	77,3	42,6	37,9	743,30	
Q_{Surf}	40,65	2,99	0,88	1,50	1,41	1,49	5,06	10,19	2,51	4,33	2,36	1,93	75,30	10,1
Q_{OKF}	79,22	22,39	13,27	8,41	8,44	1,38	0,22	0,00	0,00	4,33	9,42	21,06	168,14	22,62
Q_{KS}	0,07	0,06	0,05	0,06	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,42	0,06
Q_{KBS}	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,07	0,09	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,35	0,05
Diff	-28,03	5,35	-5,53	-15,58	-24,64	-96,21	-15,36	46,42	25,24	67,00	30,51	1,03	-9,8	-1,32
ET_a	100,3	4,7	16,7	33,3	65,2	131,6	82,8	37,3	21,2	1,6	0,3	13,9	508,9	68,46

Anhang 4: Tabelle zur Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse [mm] der Bodenfeuchte 2005. Zeichenerklärung siehe Anhang 2.

2005	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ	% N
N	58,6	124,8	51,9	73,4	72,3	18,9	96,2	62,6	45,0	33,1	49,5	80,1	766,4	
Q_{Surf}	2,57	2,96	5,14	3,46	3,07	0,58	5,54	2,07	1,34	1,69	0,81	2,79	32,02	4,2
Q_{OKF}	32,50	46,43	53,71	37,09	11,13	1,16	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	2,05	184,08	24,02
Q_{KS}	0,01	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01
Q_{KBS}	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,10	0,09	0,08	0,21	0,00	0,00	0,58	0,08
Diff	3,08	34,60	-14,00	-32,71	-46,79	-72,31	-0,95	1,17	33,81	-1,69	12,69	65,49	-17,6	-2,30
ET_a	20,5	40,8	7,0	65,5	104,8	89,4	91,5	59,3	9,8	32,9	36,0	9,8	567,3	74,02

Anhang 5: Tabelle zur Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse [mm] und Bodenfeuchte + ET_a 2006. Zeichenerklärung siehe Anhang 2.

2006	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ	% N
N	19,5	45,3	139,6	51,0	61,4	25,1	46,1	162,1	35,3	115,0	26,5	32,6	759,6	
Q_{Surf}	1,58	2,3	5,23	1,94	2,84	2,11	1,46	6,45	1,03	5,89	0,99	1,09	32,92	4,33
Q_{OKF}	10,61	25,35	56,06	22,44	2,46	1,39	0,004	0,68	0,08	30,54	5,94	15,86	117,41	22,57
Q_{KS}	0,0068	0,001	0,0013	0,0034	0,0027	0,0036	0,003	0,0047	0,0052	0,0067	0,0038	0,0024	0,0446	0,0059
Q_{KBS}	0,0028	0,0032	0,0019	0,0014	0,0104	0,0024	0,0012	0,0021	0,0019	0,0035	0,0025	0,0028	0,0361	0,0048
Diff + ET_a								555,16						73,09

Anhang 6: Tabelle zur Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse [mm] und Bodenfeuchte + ET_a 2007. Zeichenerklärung siehe Anhang 2.

2007	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ	% N
N	54,1	74,4	72,8	0,1	125,2	70,9	84,0	66,1	71,8	10,5	72,3	50,5	752,7	
Q_{Surf}	4,61	3,73	4,61	0,04	5,26	2,34	2,52	2,3	2,17	0,04	3,05	2,2	32,85	4,37
Q_{OKF}	30,52	39,88	34,54	9,83	1,01	0,43	0,02	0,31	0,51	0	11,09	27,61	155,74	20,69
Q_{KS}	0,0024	0,003	0,0019	0,0043	0,0052	0,0065	0,0027	0,0036	0,0036	0,0047	0,0027	0,002	0,0429	0,0057
Q_{KBS}	0,0026	0,0016	0,0023	0,003	0,0057	0,0023	0,0041	0,001	0,0023	0,0026	0,0029	0,0024	0,0328	0,0044
Diff + ET_a	564,03													74,93

Anhang 7: Tabelle zur Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse [mm] und Bodenfeuchte + ET_a 2008. Zeichenerklärung siehe Anhang 2.

2008	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ	% N
N	49,17	56,51	98,81	82,66	49,72	53,67	42,57	92,39	22,11	109,08	28,9	36,24	721,83	
Q_{Surf}	1,63	2,01	5,32	3,25	1,28	1,69	1,3	2,81	1,73	4,25	1,32	1,76	28,36	3,93
Q_{OKF}	31,0	36,29	53,02	22,03	10,49	5,04	0,28	0,22	0,07	10,38	17,88	30,1	216,8	30,03
Q_{KS}	0,0027	0,0029	0,0032	0,0016	0,0038	0,0017	0,0011	0,002	0,0027	0,0012	0,0031	0,0055	0,0315	0,0044
Q_{KBS}	0,0045	0,0042	0,005	0,0143	0,0079	0,0133	0,0486	0,0512	0,0286	0,027	0,0181	0,0129	0,0326	0,0326
Diff + ET_a	476,4													66,0

Anhang 8: Tabelle zur Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse [mm] und Bodenfeuchte + ET_a 2009. Zeichenerklärung siehe Anhang 2.

2009	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ	% N
N	31,9	87,9	86,8	37,1	104,5	49,9	140,5	47,8	17,5	65,5	51,5	103,8	824,7	
Q_{Surf}	4,50	3,57	4,31	1,36	2,37	1,27	4,85	1,03	0,55	2,05	2,82	5,27	33,95	4,12
Q_{OKF}	12,42	61,19	58,35	7,11	26,71	2,19	15,07	2,23	0,20	0,26	22,16	78,34	286,23	34,71
Q_{KS}	0,006	0,003	0,005	0,003	0,007	0,004	0,015	0,008	0,010	0,005	0,003	0,004	0,073	0,009
Q_{KBS}	0,044	0,014	0,017	0,028	0,029	0,037	0,044	0,041	0,042	0,022	0,011	0,017	0,346	0,042
Diff + ET_a	504,10													61,13

Anhang 9: Tabelle zur Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse [mm] und Bodenfeuchte + ET_a 2010. Zeichenerklärung siehe Anhang 2.

2010	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ	% N
N	52,8	47,4	36,3	17,0	139,1	42,6	73,7	117,9	61,4	44,2	112,2	138,8	883,4	
Q_{Surf}	6,75	4,95	2,08	0,57	4,58	1,18	2,34	4,47	1,70	1,64	4,35	8,96	43,57	4,93
Q_{OKF}	46,84	48,93	19,59	3,95	15,89	4,18	0,29	0,81	1,64	8,91	49,82	85,18	284,04	32,15
Q_{KS}	0,003	0,002	0,002	0,005	0,003	0,008	0,011	0,010	0,002	0,003	0,004	0,002	0,057	0,0064
Q_{KBS}	0,022	0,018	0,014	0,016	0,007	0,008	0,012	0,026	0,037	0,013	0,007	0,026	0,206	0,0233
Diff + ET_a	555,53													62,89

Anhang 10: Tabelle zur Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse [mm] und Bodenfeuchte + ET_a 2011. Zeichenerklärung siehe Anhang 2.

2011	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ	% N
N	48,90	21,90	26,70	25,00	69,40	98,90	84,80	103,20	29,80	63,40	4,40	160,30	736,70	100
Q_{Surf}	3,69	0,87	0,93	0,88	2,49	3,70	2,79	3,91	0,96	2,30	0,14	5,87	28,53	3,87
Q_{OKF}	48,96	1,92	6,78	0,65	0,22	0,55	1,21	5,30	1,18	3,69	1,24	77,07	148,78	20,20
Q_{KS}	0,00	0,06	0,01	0,04	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,12	0,31	0,04
Q_{KBS}	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,22	0,03
Diff + ET_a	558,85													75,9

Anhang 11: Tabelle zur Bodenwasserbilanz der monatlichen Abflüsse [mm] und Bodenfeuchte + ET_a 2012. Zeichenerklärung siehe Anhang 2.

2012	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Σ	% N
N	88,70	23,00	12,40	49,30	49,70	112,80	96,10	29,60	64,80	55,80	96,70	106,90	88,70	100
Q_{Surf}	3,72	0,25	0,44	1,33	1,71	3,59	3,36	0,86	2,65	2,10	3,80	4,24	28,05	3,57
Q_{OKF}	68,67	1,58	7,13	1,92	0,65	0,43	2,30	0,28	0,01	0,35	30,48	79,72	193,52	24,63
Q_{KS}	0,022	0,039	0,057	0,019	0,007	0,005	0,015	0,010	0,006	0,003	0,005	0,171	0,360	0,05
Q_{KBS}	0,020	0,038	0,010	0,008	0,017	0,038	0,057	0,037	0,021	0,020	0,020	0,033	0,320	0,04
Diff + ET_a													563,55	71,72

Anhang 12: Gesamtwirkungsgrad W_{ges} der Oberflächenabdichtung für den Untersuchungszeitraum 2003 – 2012.

	Niederschlag [mm]	Gesamtwirkungsgrad W_{ges} [%]
Jan 2003	-	-
Feb 2003	24,2	99,85
Mrz 2003	25,5	99,73
Apr 2003	34,0	99,80
Mai 2003	50,7	99,86
Jun 2003	25,1	99,44
Jul 2003	65,0	99,83
Aug 2003	32,9	99,66
Sep 2003	36,8	99,79
Okt 2003	93,8	99,98
Nov 2003	43,1	100,00
Dez 2003	30,4	100,00
Jahres-Wges 2003	461,5	99,85
Jan 2004	192,2	100,00
Feb 2004	35,5	100,00
Mrz 2004	25,4	99,98
Apr 2004	27,7	99,93
Mai 2004	50,5	99,92
Jun 2004	38,4	99,81
Jul 2004	72,8	99,87
Aug 2004	94,0	99,94
Sep 2004	49,0	99,93
Okt 2004	77,3	99,98
Nov 2004	42,6	99,98
Dez 2004	37,9	100,00
Jahres-Wges 2004	743,3	99,95
Jan 2005	58,6	100,00
Feb 2005	124,8	100,00
Mrz 2005	51,9	100,00
Apr 2005	73,4	99,98
Mai 2005	72,3	99,95
Jun 2005	18,9	99,76
Jul 2005	96,2	99,90
Aug 2005	62,6	99,85
Sep 2005	45,0	99,81
Okt 2005	33,1	99,37
Nov 2005	49,5	100,00
Dez 2005	80,1	100,00
Jahres-Wges 2005	766,6	99,92
Jan 2006	19,5	99,99
Feb 2006	45,3	99,99
Mrz 2006	139,6	100,00
Apr 2006	51,0	100,00
Mai 2006	61,4	99,98
Jun 2006	25,1	99,99
Jul 2006	46,1	100,00
Aug 2006	162,1	100,00
Sep 2006	35,3	99,99
Okt 2006	115,0	100,00
Nov 2006	26,5	99,99
Dez 2006	32,6	99,99
Jahres-Wges 2006	759,6	99,99

Fortsetzung Anhang 12:

	Niederschlag [mm]	Gesamtwirkungsgrad W_{ges} [%]
Jan 2007	54,1	100,00
Feb 2007	74,4	100,00
Mrz 2007	72,8	100,00
Apr 2007	0,1	97,00
Mai 2007	125,2	100,00
Jun 2007	70,9	100,00
Jul 2007	84,0	100,00
Aug 2007	66,1	100,00
Sep 2007	71,8	100,00
Okt 2007	10,5	99,98
Nov 2007	82,3	100,00
Dez 2007	50,5	100,00
Jahres-Wges 2007	752,7	99,75
Jan 2008	49,2	99,99
Feb 2008	56,5	99,99
Mrz 2008	98,8	99,99
Apr 2008	82,7	99,98
Mai 2008	49,7	99,98
Jun 2008	53,7	99,98
Jul 2008	52,6	99,89
Aug 2008	92,4	99,94
Sep 2008	22,1	99,87
Okt 2008	109,1	99,98
Nov 2008	28,9	99,94
Dez 2008	36,2	99,96
Jahres-Wges 2008	721,8	99,96
Jan 2009	31,9	99,86
Feb 2009	87,9	99,98
Mrz 2009	86,8	99,98
Apr 2009	37,1	99,92
Mai 2009	104,5	99,97
Jun 2009	49,9	99,93
Jul 2009	140,5	99,97
Aug 2009	47,8	99,92
Sep 2009	17,5	99,76
Okt 2009	65,5	99,97
Nov 2009	51,5	99,98
Dez 2009	103,8	99,98
Jahres-Wges 2009	824,7	99,94
Jan 2010	52,8	99,96
Feb 2010	47,4	99,96
Mrz 2010	36,3	99,96
Apr 2010	17,0	99,90
Mai 2010	139,1	100,00
Jun 2010	42,6	99,98
Jul 2010	73,7	99,98
Aug 2010	117,9	99,98
Sep 2010	61,4	99,94
Okt 2010	44,2	99,97
Nov 2010	112,2	99,99
Dez 2010	138,8	99,98
Jahres-Wges 2010	883,4	99,96

Fortsetzung Anhang 12:

	Niederschlag [mm]	Gesamtwirkungsgrad W_{ges} [%]
Jan 2011	48,9	99,96
Feb 2011	21,9	99,95
Mrz 2011	26,7	99,95
Apr 2011	25	99,95
Mai 2011	69,4	99,97
Jun 2011	98,9	99,97
Jul 2011	84,8	99,99
Aug 2011	103,2	99,97
Sep 2011	29,8	99,91
Okt 2011	63,4	99,96
Nov 2011	4,4	99,85
Dez 2011	160,3	99,99
Jahres-Wges 2011	736,7	99,95
Jan 2012	88,7	99,98
Feb 2012	23,0	99,83
Mrz 2012	12,4	99,92
Apr 2012	49,3	99,98
Mai 2012	49,7	99,97
Jun 2012	112,8	99,97
Jul 2012	96,1	99,94
Aug 2012	29,6	99,88
Sep 2012	64,8	99,97
Okt 2012	55,8	99,96
Nov 2012	96,7	99,98
Dez 2012	106,9	99,97
Jahres-Wges 2012	785,8	99,95

Anhang 13: beigelegt als CD

Datenablage
Digitaler Bericht
Auswertung