Ber. Naturhist. Ges. Hannover	137	109–123	Hannover 1995

Das Wasser- und Wärmeregime von anthropogen stark überprägten Stadtböden – Veränderungen unter verschiedenen Versiegelungsarten und in Deponieabdeckungen

von

R. PAGEL, J. BACHMANN und K. H. HARTGE

mit 9 Abbildungen

Zusammenfassung. Im Rahmen des „Ökologischen Forschungsprogramms Hannover (ÖFH)" wurde vom Institut für Bodenkunde der Universität Hannover die Beeinflussung des Wasser- und Wärmeregimes von Stadtböden durch verschiedene anthropogene Bodenüberformungen untersucht. Die Spannbreite der neun Meßstellen im nordwestlichen Stadtgebiet von Hannover reichte von vegetationsbedeckten über teil- bis zu vollversiegelten Flächen, die sich alle langjährig in charakteristischer urbaner Nutzung befanden. Das Beispiel eines Rasenstandortes zeigt die typische Jahresdynamik der Bodenfeuchte und -temperatur, die vom Witterungsgeschehen geprägt wird. Durch die unterschiedliche Versiegelung der Sandböden mit Materialien wie Rasengitterstein, Asche oder Asphalt ändern sich die Bedingungen für Verdunstung, Versickerung, Oberflächenabfluß und Absorption der Sonnenstrahlung. Mit zunehmender anthropogener Überprägung vermindern sich daher die jahreszeitlichen Schwankungen der Bodenfeuchte und die Böden trocknen im Sommer weniger aus. Als Folge unterbleibt der kapillare Wasseraufstieg aus größeren Tiefen, der bewachsene Standorte in der Vegetationsperiode auszeichnet, und das Wasser versickert ganzjährig Richtung Grundwasser. Gleichzeitig führt die zunehmende Versiegelung zu einer immer stärkeren, tiefgründigen sommerlichen Aufheizung der Böden, die im Winter unabhängig von der Art der Oberflächenüberformung alle wieder ein ähnliches Temperaturniveau erreichen.
Mit der Deponie Altwarmbüchen konnte zusätzlich noch ein weiterer, extremer Sonderstandort vergleichend einbezogen werden. Der ständige Wärmefluß aus dem Deponiekörper heizt die Abdeckböden extrem auf. Ein geeigneter Bodenaufbau mit Drän- und Dichtsystem kann ausgleichend auf die Bodentemperaturen wirken und den Wasserhaushalt nachhaltig verbessern, um eine gezielte Begrünung zu ermöglichen.

Summary: The balance of water and heat of heavily formed urban soils – changes as the result of different kinds of sealing and of deposition covering. In the course of the ecological research program Hannover the Institute of Soil Science at Hannover University researched how different man-made changes in soil covering, influence water and heat bal-

ance in urban soils. As part of this research, measurements were taken from nine different locations within the northwestern area of Hannover. The surfaces ranged from those covered by vegetation to some that were partly or fully sealed. All of the nine locations were in typical urban use. The example of a grass-covered area shows changes of the anual conditions in terms of ground humidity and ground temperature, which are influenced by weather conditions. The scaling of sandy soils, with all kinds of different materials, such as ash-asphalt and grass-stone grids contributes largely to changes in evaporation, water seepage and absorption of sun rays. Further changes in the natural conditions of the soils in urban areas lead to less typical seasonal variations concerning the ground humidity with the result that the soil will dry up considerably less during the summer. As a result, this does not allow the ground water to rise from greater depths. The water will seep away in the direction of the ground water throughout the year. The more extensive sealing of urban soils also results in heating of the soil during the summer months. All locations investigated reach the same level of heat regardless of their covering.

The Altwarmbüchen deposition site could be used as a further extreme example for comparison purposes. The constant heat flow warms the covering soil of the site to an extreme. Only a suitable soil structure which combines drainage and sealing equally can help to balance the temperature, improve the water balance and make landscaping possible.

Einleitung

Die Böden in Städten sind infolge der menschlichen Siedlungstätigkeit oft stark verändert. Gegenüber ihrem natürlichen oder beackerten Zustand können sie sich in Aufbau und Eigenschaften wesentlich unterscheiden. Beim Bau von Verkehrswegen und Gebäuden oder durch Gartennutzung kann es zu Durchmischungen und Aufträgen von ortsfremden Material kommen. Beimengungen wie Bauschutt oder Glasscherben sind zu finden. Einträge aus Verkehr und Industrie dringen in den Untergrund ein. Böden werden gekappt, verlagert, planiert und verdichtet. Die Oberfläche wird auf vielfältige Art befestigt und versiegelt.

Die spezielle Ausgestaltung der Bodenoberfläche, beispielsweise in Gestalt einer Vegetationsschicht, eines Plattenbelages oder einer Betondecke, steht in der Regel in engem Zusammenhang mit der jeweiligen Nutzung. Vor allem im innerstädtischen Bereich führt die großflächige Überbauung durch Wohn- und Verkehrsflächen zu zunehmender Bodenversiegelung. Dies bleibt nicht ohne Wirkung auf das Stadtklima, die Abflußmenge in das Kanalisationsnetz und die Grundwasserneubildung. Vorschläge für Entsiegelungsstrategien werden daher bereits diskutiert.

Der kleinräumige Wechsel von sehr verschiedenen Nutzungen und Versiegelungsgraden kann auch nicht ohne Folgen für die Vorgänge bleiben, die in den Böden selbst ablaufen. Der Anteil der absorbierten Sonneneinstrahlung hängt entscheidend von der Oberflächenbeschaffenheit ab, und gleichzeitig wird die jeweilige Kombination von Oberflächenabfluß, Versikkerung und Verdunstung verändert. Im Zusammenspiel mit dem Witterungsgeschehen wird der Bodenwasser- und Bodenwärmehaushalt im jährlichen Zyklus unterschiedlich geprägt. Es stellt sich die Frage, wie die Beeinflussung im einzelnen aussieht.

Was unterscheidet zum Beispiel den Asphaltbelag eines Parkplatzes von einer Rasenfläche, wenn man die Wirkung auf die Temperatur- und Feuchtedynamik in der ungesättigten Bodenzone oberhalb des Grundwasserkörpers betrachtet? Wie verhält sich die Befestigung eines Eisenbahngeländes durch Asche oder Schotter im Vergleich zu einer Pflasterung eines Betriebshofes mit Rasengitter- oder Betonverbundsteinen? Welche Rolle spielen dabei die Pflasterfugen gegenüber einer weitgehend geschlossenen Betonabdeckung?

Während über den Wärme-, Wasser- und Stoffhaushalt land- und forstwirtschaftlich genutzter Böden umfangreiche Kenntnisse vorliegen, ist der Wissensstand bei Stadtböden

bisher eher gering. Allgemeingültige Aussagen, die im Labor oder an anderen Standorten gewonnen wurden, können nicht ohne weiteres übernommen werden. Es mangelt an systematischen Vergleichen großräumiger Flächen mit unterschiedlicher anthropogener Überprägung, die einen nennenswerten Anteil am Stadtgebiet haben. Außerdem fehlen Betrachtungen über längere Zeiträume, um auch jahreszeitlich bedingte Veränderungen beurteilen zu können.

Um die Beeinflussung des Wasser- und Wärmeregimes durch die verschiedenen Bodenüberformungen zu erkunden, wurden 1990 im Rahmen des Ökologischen Forschungsprogramms Hannover (ÖFH) neun Meßstellen im Stadtgebiet angelegt. Die Spannbreite reicht von vegetationsbedeckten über teil- bis zu vollversiegelten Flächen. Die Untersuchungen erstreckten sich bis Ende 1993 und wurden nach Ablauf des ÖFH von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

Dank der Unterstützung des Niedersächsischen Ministers für Wissenschaft und Kunst und des Fuhramtes der Stadt Hannover konnte darüber hinaus mit der Deponie Altwarmbüchen noch ein weiterer, extremer Sonderstandort einbezogen werden. Bei der Betrachtung der durch menschliche Siedlungsaktivität überprägten Böden wird den Deponieabdeckböden vom Flächenbedarf her gesehen ein zunehmender Stellenwert eingeräumt. In Hannover beispielsweise existieren zur Zeit ca. 70 aktive und inaktive Deponierungsstandorte, von denen die Zentraldeponie der Landeshauptstadt Hannover in Altwarmbüchen bei der Fertigstellung im Jahr 2020 mit einer Grundfläche von 140 Hektar und einer Höhe von ca. 60 m zu einer der größten Deponien in Deutschland ausgebaut sein wird. Die Rekultivierung der Deponieoberfläche, die zum Zweck der optischen Einbindung der Deponie in das Naherholungsgebiet Altwarmbüchen kontinuierlich betrieben werden soll, bereitet aber besondere bodenkundliche Probleme, auf die im zweiten Teil gesondert eingegangen wird.

Versiegelte Flächen

Vorgehensweise

Um den Einfluß unterschiedlicher Nutzung und Versiegelung auf das Wasser- und Wärmeregime zu untersuchen, wurden im nordwestlichen Stadtgebiet von Hannover neun Meßstellen angelegt. Die Standorte sind auf die Stadtteile Nordstadt, Herrenhausen, Hainholz, Leinhausen und Stöcken verteilt. Das geologische Ausgangsmaterial des Untersuchungsgebietes besteht aus fluviatilen Sanden, in tieferen Lagen im Wechsel mit Kiesen über kreidezeitlichen Tonen. Obwohl die Böden durch die menschliche Tätigkeit stark verändert sind, handelt es sich bei allen Versuchsvarianten um Sandböden. Der mittlere Grundwasserflurabstand liegt zwischen einem und mehr als drei Meter. Diese beträchtliche Spannbreite steht jedoch nicht in unmittelbarem Zusammenhang zur Oberflächenüberprägung, sondern wird vor allem durch die Topographie und Geologie bedingt.

Die Anlage der Meßstellen erfolgte in der Mitte von ausgedehnten Flächen mit einheitlicher Oberflächenbeschaffenheit, die üblicher städtischer Belastung ausgesetzt waren. Die Varianten erstrecken sich jeweils über mehrere tausend Quadratmeter. Es wurde ein möglichst breites Spektrum typischer Überformungs- bzw. Versiegelungsarten abgedeckt, das von vegetationsbedeckten über teil- bis zu vollversiegelten Arealen reicht. Alle befinden sich seit Jahren unter charakteristischer, gleichbleibender Nutzung, die durch den Aufbau und Betrieb der Meßstellen möglichst wenig gestört werden sollte.

Im einzelnen handelt es sich um folgende Untersuchungsvarianten, die in der Reihenfolge zunehmender Überformung aufgeführt sind:

Meßstellen zunehmender anthropogener Überprägung

Parkrasen	extensiv genutzte Parkrasenfläche, Georgengarten
Zierrasen *	intensiv gepflegte Grünfläche, VW Stöcken
Gartenbau	Zierpflanzenbau, Universitätsgelände Herrenhausen
Rasengitterstein *	Abstellfläche für Kleintransporter, VW Stöcken
Schotter	Eisenbahngelände, Leinhausen
Asche *	Eisenbahngelände, Leinhausen
Betonverbundstein	Betriebshof Stadtentwässerungsamt, Hainholz
Beton	Industriegroßparkplatz, VW Stöcken
Asphalt *	Industriegroßparkplatz, VW Stöcken

Die mit Stern gekennzeichneten vier Varianten werden im weiteren detaillierter vorgestellt. Sie decken die gesamte Spanne der beobachteten Phänomene ab, in die sich die übrigen Standorte als Übergänge einreihen lassen.

Abb. 1 zeigt den schematischen Aufbau der Meßstellen. Der Zierrasen hat ganzjährig eine dichte, kurzgeschnittene Rasendecke, beim Rasengitterstein hingegen wächst das Gras nur spärlich zwischen den Betonsteinen. Während auf dem Eisenbahngelände der Sandboden mit einer durchlässigen Schicht aus einem Asche-/Schlackegemisch befestigt wurde, ist der Parkplatz mit einer Asphaltdecke versiegelt.

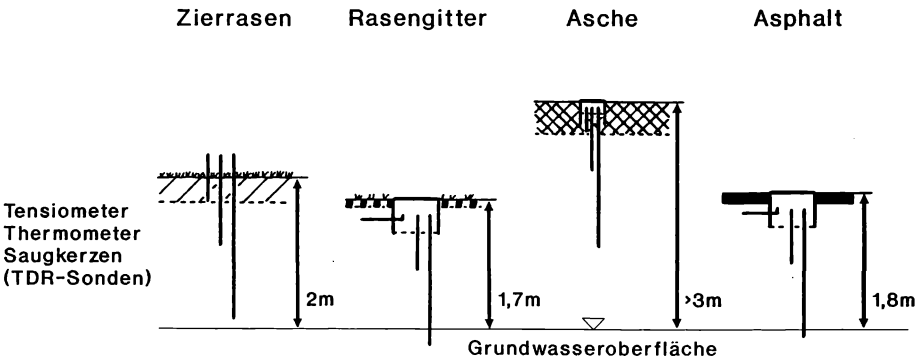


Abb. 1: Schematischer Aufbau der Meßstellen zunehmender anthropogener Überprägung mit Grundwasserflurabstand.

Die Meßgeräte wurden in verschiedenen Tiefen bis zwei Meter unter Geländeoberkante eingebaut. Unter den befahrenen Flächen werden sie durch schwere Schachtkonstruktionen geschützt. Mit den Tensiometern bestimmt man Matrixpotentiale, die ausdrücken, wie stark das Wasser von den festen Bodenbestandteilen gebunden wird. Damit erhält man eine zentrale Größe des Bodenwasserhaushaltes, mit der u. a. Aussagen über relative Austrocknungs- bzw. Befeuchtungszustände sowie Wasserbewegungen möglich werden. Die Bodentemperaturen wurden mit Thermometern aus Halbleiterelementen erfaßt. Mit Saugkerzen konnten Bodenlösungen gewonnen und hinterher analysiert werden. Zusätzlich waren teilweise sogenannte TDR-Sonden (Time Domain Reflektometrie) installiert, um den Wassergehalt im Boden direkt zu ermitteln. Alle Messungen erfolgten im wöchentlichen Abstand.

Witterungsverlauf

Der Wasser- und Wärmehaushalt von Böden wird allgemein stark vom Witterungsverlauf geprägt. Eine Vorstellung über das Wettergeschehen der Jahre 1990–92 im Stadtgebiet von Hannover soll Abb. 2 geben, wobei die einzelnen Quartale jeweils mit I bis IV bezeichnet

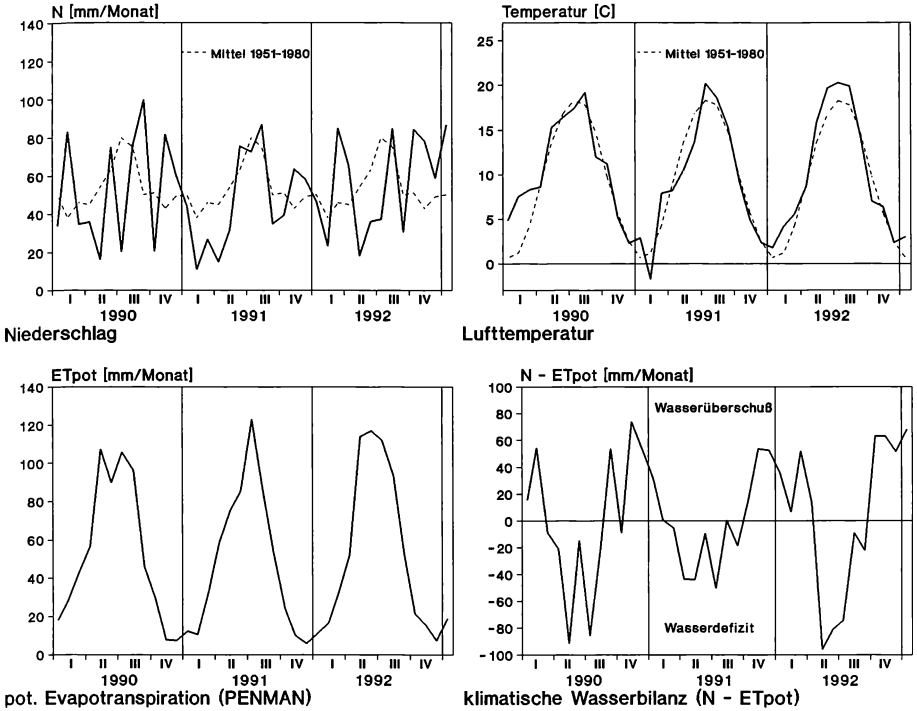


Abb. 2: Witterungsverlauf 1990–92 im Stadtgebiet von Hannover: Niederschlag und Lufttemperatur in 2 m Höhe im Vergleich zum langjährigen Mittel sowie potentielle Evapotranspiration und klimatische Wasserbilanz einer Rasenfläche in Herrenhausen.

sind. Die Daten wurden vom Institut für Meteorologie und Klimatologie der Universität Hannover in Herrenhausen in 2 m Höhe über einer Rasenfläche registriert, die unmittelbar an den Standort Gartenbau grenzt. Dargestellt sind jeweils Monatswerte.

Die Monatssummen der Niederschläge zeigen im Betrachtungszeitraum keine systematische Verteilung. Besonders 1991 waren relativ hohe sommerliche Regenfälle zu beobachten, wie sie nach dem langjährigen Mittel für diese Jahreszeit auch üblich sind. Dieses Jahr war aber durch ein besonders trockenes Frühjahr gekennzeichnet. Insgesamt war 1991 daher mit einer Jahressumme von nur 560 mm zu trocken, gegenüber einem zu erwartenden dreißigjährigen Mittel von 644 mm. 1990 und 1992 hingegen waren in der Jahresbilanz nahezu ausgeglichen.

Der Verlauf der Lufttemperatur spiegelt den typischen saisonalen Gang wider. Der auffällig warme Jahresbeginn 1990 und 1992 zusätzlich der heiße Sommer erhöhen das Jahresmittel auf 10,7 bzw. 10,5 °C im Vergleich zum langjährigen Mittelwert von 9,6 °C. Das Jahr 1991 fiel mit nur 9,3 °C etwas kühler aus.

Aus Tageswerten der Lufttemperatur, relativen Feuchte, Windgeschwindigkeit und Sonnenscheindauer lassen sich nach einem Verfahren, das von PENMAN entwickelt wurde, Werte für die potentielle Evapotranspiration berechnen. Das ist die Verdunstung aus dem Boden und durch die Pflanzen, die aufgrund des Wetters möglich erscheint. In Abb. 2 sind unten links die Monatssummen zu sehen, wie sie sich aus den gemessenen Witterungsdaten für eine beliebige Rasenfläche in Hannover-Herrenhausen ergeben. Typisch ist die Jahresperiodik mit

höchsten Werten der klimatisch möglichen Verdunstung im Sommer und geringen Werten im Winter. 1991 ergibt sich, parallel zu den niedrigeren Temperaturen, eine deutlich kleinere Jahressumme als in den beiden anderen Jahren.

Interessant gestaltet sich die Ableitung einer vereinfachten, klimatischen Wasserbilanz für die Rasenfläche als Differenz aus gefallenen Niederschlägen und berechneter, potentieller Evapotranspiration (Abb. 2, rechts unten). Wie prinzipiell in Deutschland zu erwarten, findet man auch hier im Winterhalbjahr eine positive Bilanz, da mehr Niederschlag fällt als verdunstet. Der Wasserüberschuß führt zur Auffüllung des Wasservorrates im Boden und zur Grundwasserneubildung. Im Sommerhalbjahr dagegen überwiegt die Verdunstung der bewachsenen Fläche und ein Wasserdefizit bildet sich aus. Somit findet eine aufsteigende Wasserbewegung im Boden statt. Besonders markant zeigt sich der zeitliche Verlauf des sommerlichen Defizites in den drei dargestellten Untersuchungsjahren. Es ist zu erwarten, daß die auffälligen, charakteristischen Gipfel die Austrocknung des durchwurzelten Oberbodens maßgeblich bestimmen.

Das Wasserregime unter Versiegelung

Anhand des Jahresganges der Bodenfeuchte wird die Auswirkung von verschiedenen Versiegelungsarten auf das Wasserregime verdeutlicht. Die unterschiedliche Beeinflussung der vier vorgestellten Flächen wird in Abb. 3 aus dem Verlauf der Matrixpotentiale in den Tiefen 30, 90 und 200 cm ersichtlich. Aus physikalischen Gründen geht die Abnahme des Wassergehaltes und damit die relative Austrocknung des Bodens stets einher mit sinkenden, d. h. negativeren Potentialen, was eine stärkere Wasserbindung durch die festen Bodenpartikel ausdrückt. Hier kommt es zu augenfälligen Unterschieden zwischen den Untersuchungsvarianten.

Der Zierrasen zeigt das typische und bekannte Bild einer ganzjährig vegetationsbedeckten Fläche, generell vergleichbar mit anderen bewachsenen Standorten auch außerhalb der Stadt. Vom Wettergeschehen gesteuert wechseln sommerliche Austrocknung und winterliche Wiederbefeuchtung ab. Mit zunehmender Entfernung von der Oberfläche werden diese Vorgänge abgeschwächt und zeitlich verzögert. Bemerkenswert ist die gute Übereinstimmung von einzelnen Phasen in der obersten Meßtiefe mit der Ganglinie der klimatischen Wasserbilanz, die hier zur prinzipiellen Orientierung zusätzlich, in einem gegenüber Abb. 2 veränderten Maßstab eingetragen ist. Das Übergewicht der Verdunstung im Sommerhalbjahr führt zum Wasserdefizit und damit zur charakteristischen Austrocknung des durchwurzelten Oberbodens in den drei Jahren. Kapillarer Wasseraufstieg aus größeren Bodentiefen ist die Folge, die dann ebenfalls stärker austrocknen. Im Winterhalbjahr überwiegen die Niederschläge und können damit den Bodenwasservorrat sowie das Grundwasser wieder auffüllen.

Da sich die Randbedingungen mit zunehmender anthropogener Überprägung ändern, wird der Jahresgang der Bodenfeuchte in der Amplitude drastisch gedämpft. Bei Rasengitter und Asche ist nur noch ein schwacher saisonaler Ausschlag zu erkennen, und der Asphalt erscheint im zeitlichen Verlauf fast unverändert. Doch bei genauerer Betrachtung der Abb. 3 oder in einem veränderten, hier nicht gezeigten Maßstab lassen sich Übereinstimmungen von einzelnen Abschnitten deutlich ausmachen.

Bei der Rasengittersteinfläche vermindert sich die Transpiration, weil nur ein spärlicher Graswuchs ausgebildet ist. Die Evaporation aus dem Boden wird durch die Teilversiegelung mit den Betonsteinen eingeschränkt. Daraus resultiert die geringere oberflächennahe Austrocknung im Sommer im Vergleich zur Rasenfläche. Trotzdem bleibt der typische Jahresgang und die Parallelität zur klimatischen Wasserbilanz erhalten. Die Potentiale in zwei Meter Tiefe verdeutlichen die Schwankungen der Grundwasseroberfläche.

Unter der Ascheschicht ist die Feuchtedynamik noch stärker gedämpft, aber weiterhin ausgeprägt. Da die Eisenbahnflächen aus Sicherheitsgründen vegetationsfrei gehalten werden, spielt hier Transpiration durch Pflanzen keine Rolle. Die Abdeckschicht selber wirkt wegen ihrer grobporigen Struktur wie eine Evaporationsbarriere.

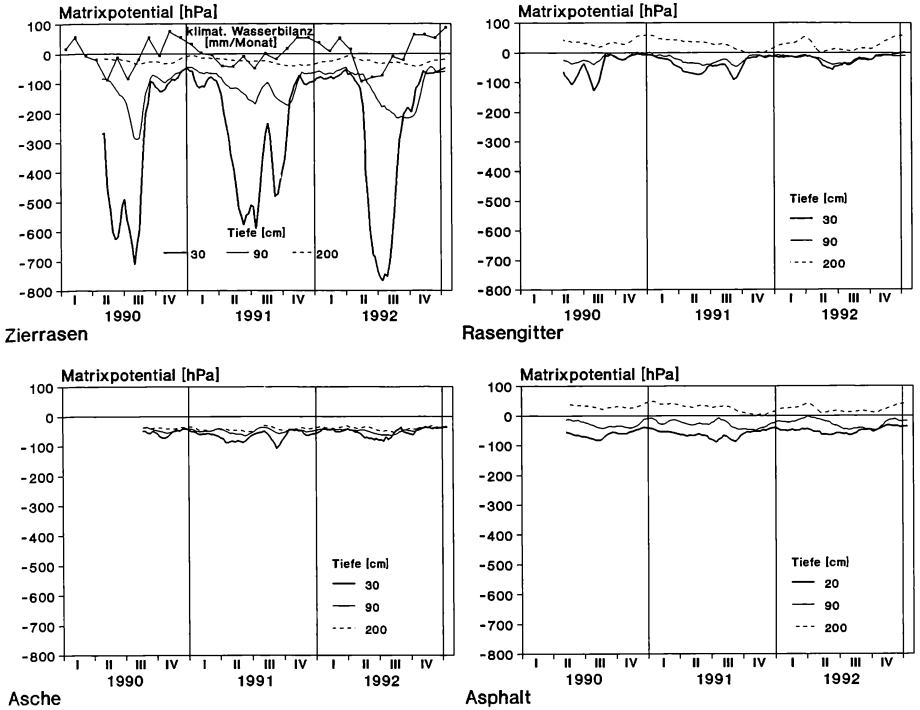


Abb. 3: Jahresgang der Matrixpotentiale 1990–92 in drei Tiefen unter verschiedenen Versiegelungsarten, bei Zierrasen zusätzlich klimatische Wasserbilanz.

Die Asphaltdecke gilt als „Vollversiegelung". Folgerichtig kann bei Regen Oberflächenabfluß von den leicht geneigten Flächen beobachtet werden. Ein erhöhter Anteil des Niederschlages verdunstet zudem direkt vom schwarzen Parkplatzbelag, besonders schnell an Sommertagen, wenn die Sonne ihn aufgeheizt hat. Außerdem ist davon auszugehen, daß die Evaporation aus tieferen Bodenschichten weitgehend unterbunden wird. Dennoch kommt es auch hier zu periodischen Änderungen des Matrixpotentials. Selbst unter dieser massiven Abdeckung wechseln relative Austrocknungsphasen im Sommer ab mit einer Wiederbefeuchtung im Winterhalbjahr. Der Wassergehalt ist überraschend hoch, und Schwankungen von zehn Volumenprozent sind festzustellen. Demnach kann auch eine Asphaltdecke das Eindringen von Wasser in den Boden nicht völlig unterbinden. Wegen der ständigen Beanspruchung altert das Material und Risse treten auf. Durch derartige Undichtigkeiten konnten in Versuchen nennenswerte Wassermengen infiltriert werden. Auch Stoffe gelangen auf diesem Wege in den Untergrund. In der Bodenlösung waren daher erhebliche Tausalzkonzentrationen zu finden, die nach dem Ausbringen durch den Winterstreudienst in die Tiefe verlagert wurden.

Durch die anthropogene Überformung der Böden wird auch die Wasserbewegung beeinflußt. Im Einklang mit Wasserentzug und -nachlieferung kommt es im Jahresverlauf üblicherweise zum Wechsel von auf- und abwärtsgerichteten Flüssen. Abb. 4 soll diesen Vorgang anhand der Tiefenfunktionen der Matrixpotentiale verdeutlichen, die zur Generalisierung der Phänomene als Mittelwerte der Winter- und Sommerhalbjahre dargestellt sind. Zusätzlich ist bei allen vier Varianten eine gestrichelte Linie für das hydraulische Gleichgewicht eingezeichnet.

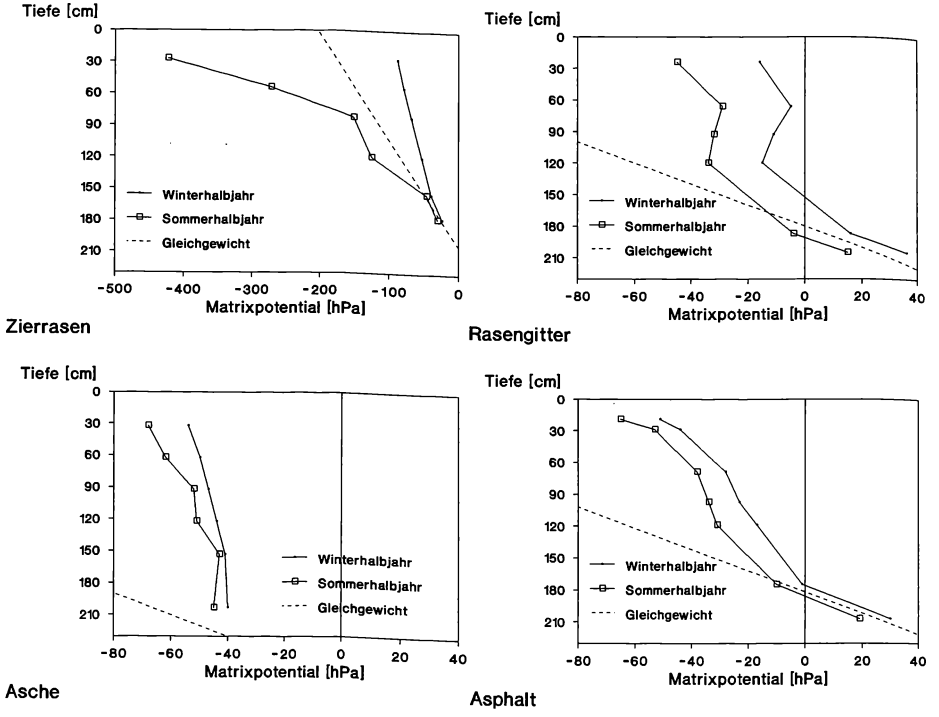


Abb. 4: Tiefenfunktionen der Matrixpotentiale im Winter- und Sommerhalbjahr unter verschiedenen Versiegelungsarten.

Wenn die Tiefenfunktionen steiler verlaufen, sickert das Wasser nach unten; sind sie flacher, bewegt es sich nach oben. An der Grundwasseroberfläche ist das Matrixpotential gleich Null.

Auch hier spiegelt der Zierrasen das typische Bild der ständig bewachsenen Fläche wider. Im Winter ist Versickerung bis zur Grundwasseroberfläche zu erkennen, im Sommer dagegen tiefgründige Austrocknung mit kapillarem Aufstieg. Mit zunehmender anthropogener Überprägung verschwindet dieser periodische Richtungswechsel, systematische jahreszeitliche Unterschiede im Austrocknungszustand sind bei dem geänderten Maßstab dennoch auszumachen. Sowohl unter Rasengitterstein, Asche als auch Asphalt findet überraschenderweise ein ganzjähriger Wasserfluß zum Grundwasser statt. Teildurchlässige Standorte mit hohem Fugen- oder Porenanteil können offensichtlich eine höhere Grundwasserneubildung aufweisen als Vegetationsflächen, wo es im Sommer zu großen Verdunstungsraten kommt. Auch wenn Areale, die wegen der Beton- oder Asphaltdecken als vollversiegelt gelten, keine vergleichbaren Sickermengen erreichen, wird doch aufgrund der Undichtigkeiten die Gefahr einer möglichen Boden- und Grundwasserkontamination offenbar.

Das Wärmeregime unter Versiegelung

Die Beeinflussung des Wärmeregimes unter verschiedenen Versiegelungsarten läßt sich am einfachsten mit dem Verlauf der Bodentemperaturen beschreiben, der in Abb. 5 für die vier Varianten wiederum in drei Tiefen von 1990 bis 1992 dargestellt ist.

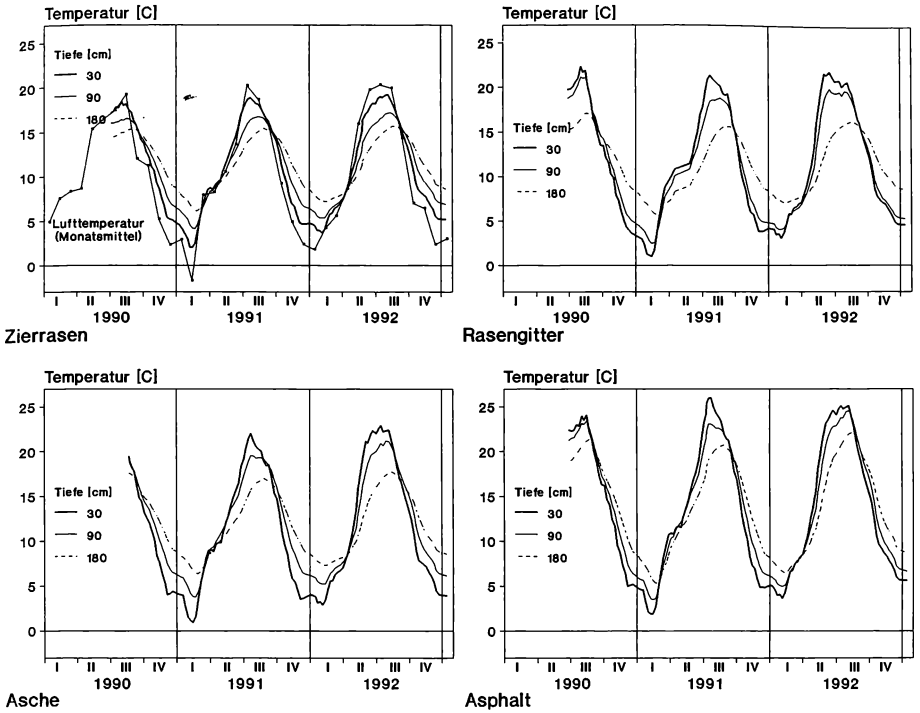


Abb. 5: Jahresgang der Bodentemperaturen 1990–92 in drei Tiefen unter verschiedenen Versiegelungsarten, bei Zierrasen zusätzlich Lufttemperatur in Herrenhausen in 2 m Höhe.

Auch bei diesem Parameter zeigt der Zierrasen das typische, bekannte Bild einer Vegetationsfläche und verdeutlicht die grundsätzlichen Vorgänge. Im Jahresverlauf werden einzelne Phasen vom Witterungsgeschehen geprägt, was aus dem weitgehend parallelen Verlauf von den Bodentemperaturen im Oberboden und den in Herrenhausen gemessenen Lufttemperaturen ersichtlich wird, die hier entsprechend der Abb. 2 zusätzlich eingezeichnet sind. Da die Energieumsätze an der Oberfläche stattfinden, verringert sich die Jahresamplitude mit zunehmender Bodentiefe. Abhängig von der Wärmeweiterleitung im Boden treten dort die Minima und Maxima zeitversetzt auf. Im Jahreszyklus kommt es zweimal zur Umkehr der Temperaturgradienten und damit der Richtung der Wärmeflüsse. Im Sommer fließt die Wärme nach unten, im Winter nach oben.

Auch unter den Versiegelungen bleibt dieser witterungsbedingte Verlauf erhalten. Mit zunehmender anthropogener Überprägung vom Zierrasen über Rasengitter, Asche bis zum Asphalt ist jedoch eine deutliche Vergrößerung der Jahresamplitude zu beobachten (Abb. 5). Auffällig ist dabei die starke Aufheizung des Bodens bis in die Tiefe im Sommer. Im Winter hingegen nähern sich die Temperaturen unabhängig von der Überformung wieder an.

Dieses Phänomen läßt sich besonders gut verdeutlichen, wenn man zum Vergleich alle vier Varianten in einer Darstellung betrachtet. Abb. 6 zeigt daher die Mittelwerte der Bodentemperaturen für die entsprechenden Halbjahre in Abhängigkeit von der Tiefe. Im Sommerhalbjahr können die versiegelten Flächen mehr Sonnenstrahlung absorbieren, weil die schützende Vegetation fehlt und die Oberflächen dunkler sind. Gleichzeitig ist die Verdunstung

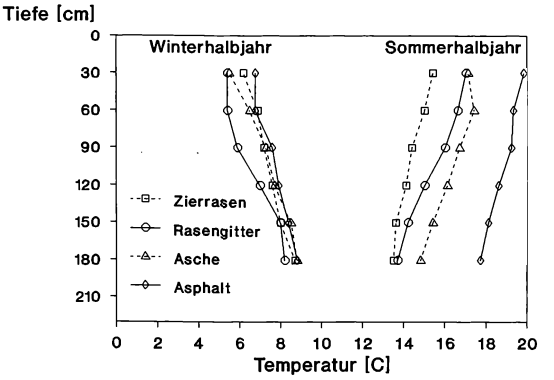


Abb. 6: Tiefenfunktionen der Bodentemperaturen im Winter- und Sommerhalbjahr unter verschiedenen Versiegelungsarten.

eingeschränkt, womit sich die Wärmeverluste vermindern. Im Winterhalbjahr dagegen ist die Abstrahlung von den wärmeren, nicht bewachsenen Standorten vermutlich erhöht. Zusätzlich könnte der Wärmeabtransport mit dem Sickerwasser für einen Ausgleich sorgen.

Unter Versiegelung werden die Bodentemperaturen bei ähnlichen Winter- und höheren Sommerwerten im Jahresmittel folglich angehoben. Während sich in den Jahren 1991 und 1992 unter Zierrasen und Rasengitterstein 11,0 bzw. 11,2 °C einstellten, vergrößerte sich der Mittelwert auf 12,0 °C unter Asche und 13,4 °C unter Asphalt, gegenüber einer mittleren Lufttemperatur von nur 9,9 °C. Damit bilden sich in der Stadtlandschaft tiefgründige Wärmeinseln aus, die bis in das Grundwasser hineinreichen.

Abdeckboden auf der Deponie Altwarmbüchen

Die Begrünung der Deponieoberfläche mit Gehölzen stellt spezielle Anforderungen an die Eigenschaften des Abdeckbodens. Bedingt durch die Gas- und Wärmeproduktion in der Deponie ist ein Bodenaufbau erforderlich, der den Wurzelraum vor Deponiegasen schützt und gleichzeitig für ausgeglichene Temperaturen im Boden sorgt. Es zeigte sich allerdings anhand früherer Pflanzversuche auf dem Südhang der Deponie, daß Abdeckböden ohne ein Dichtsystem im Unterboden nicht geeignet sind. Unter anderem bestand eine der Ursachen darin, daß die unterhalb der Abdeckungen installierten Gassammelanlagen nur einen Teil der produzierten Deponiegase absaugen, so daß erhebliche Gasmengen permanent durch den Abdeckboden strömen. Dadurch erfolgt einerseits eine Verdrängung des lebenswichtigen Sauerstoffs im Wurzelraum und andererseits ein zusätzlicher Verbrauch von Sauerstoff durch chemische Reaktionen. Bereits Phasen von wenigen Tagen unter Sauerstoffarmut im Wurzelraum können nachhaltige Schäden an Pflanzen auslösen. Insbesondere Hausmüll besitzt gegenwärtig einen durchschnittlichen Anteil an potentiell abbaubarer organischer Substanz von mehr als 40 Gewichtsprozent und damit ein langfristiges Reaktionspotential über Jahrzehnte hinweg. Die Bildung von Deponiegasen wird von einer erheblichen Wärmeproduktion im Deponiekörper begleitet. Dies führt zu weiteren, deponietypischen Problemen in Hinblick auf den Wärme- und Wasserhaushalt im Abdeckboden. Im Sommer können beispielsweise die Temperaturen im Wurzelraum Werte von über 50 °C übersteigen. Infolge der hohen Temperaturen werden sommerliche Wassermangelperioden zusätzlich durch die temperaturbedingte höhere Verdunstung verstärkt und damit auch die Gefahr von Trockenschäden für die Pflanze erhöht. Darüber hinaus können zu hohe Bodentemperaturen im Winter ebenfalls die Pflanze schädigen.

Die folgenden Ausführungen zeigen an zwei Beispielen die bodenphysikalischen Besonderheiten des Standortes Deponie. Die Testflächen unterscheiden sich dadurch, daß die eine Fläche einen „optimierten Profilaufbau" in Hinblick auf die geschilderten Probleme aufweist. Die zweite Fläche ist vergleichsweise sehr viel „kostengünstiger" und wurde ohne ein Abdichtsystem mit den im laufenden Deponiebetrieb anfallenden Materialen aufgeschüttet. Beide Flächen sind Extrembeispiele aus mehreren Versuchsreihen, in denen Abdeck- und Pflanzvarianten in Hinblick auf den technischen Aufwand und auf Kosteneffizienz geprüft werden. Anhand der mehrjährigen Versuchsreihen soll das Optimum in Hinblick auf die ideale Gestaltung der Deponieoberfläche ermittelt werden. Da eine lückenlose Pflanzendecke neben der positiven optischen Wirkung auch die Funktion des Erosionsschutzes auf den relativ steilen Hängen hat und außerdem die Sickerwassermenge im Abdeckboden vermindern soll, wird der Suche nach praktikablen Lösungen des Problems auch auf der Deponie Altwarmbüchen seit mehreren Jahren eine besondere Aufmerksamkeit beigemessen.

Aufbau der Untersuchungsflächen

Die Resultate einiger Studien aus den vergangenen Jahren weisen darauf hin, daß die gewünschte Begrünung nur dann möglich ist, wenn für die Abdeckung eine Kombination aus Abdeckboden und einer darunterliegenden, flächendeckenden Foliendichtung gewählt wird. Der Aufbau einer entsprechenden Testfläche mit den Maßen 16 m × 20 m, die im Bereich der südlichen Erweiterung der Deponie an einem Südhang in Mittelhanglage im April 1992 angelegt wurde, ist in Abb. 7 dargestellt. Diese Variante wird im folgenden als **Abdeckboden mit Dränsystem** bezeichnet.

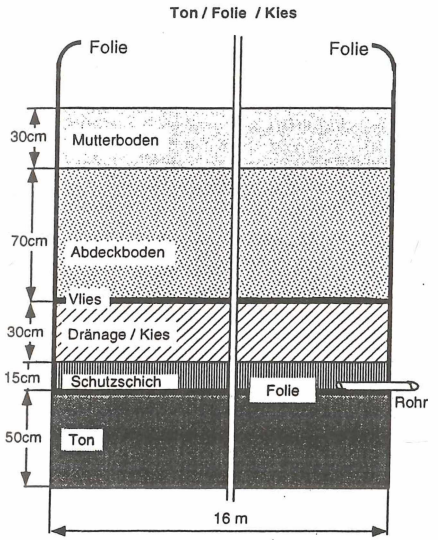


Abb. 7: Querschnitt des Abdeckbodens mit Drän- und Dichtsystem.

Für den Oberboden wurde sandiges Material mit ca. 4–7 Prozent Humus ausgewählt und gleichmäßig mit einer Mächtigkeit von ca. 35 cm auf einen sandigen Unterboden aufgebracht. Diese sehr sorgfältig angelegten Abdeckungen existieren zum heutigen Zeitpunkt in Altwarmbüchen nur als Testfläche. Der Aufbau entspricht den Vorgaben für Deponieabdecksysteme, wie er in der Technischen Anleitung (TA) Siedlungsabfall vom Gesetzgeber für Hausmülldeponien neuerdings gefordert wird.

Gängige Praxis war bisher, den Abdeckboden der Deponie aus anfallenden Materialien, wie etwa Sand, Bauschutt, Torfen oder Klärschlamm, direkt auf den Müllkörper ohne zusätzliches Drän- oder Dichtsystem aufzuschütten. Die Folge dieser Vorgehensweise war ein sehr heterogenes Bodengemisch mit engräumig stark variablen Bodeneigenschaften. Diese Fläche wird im folgenden als **Abdeckboden ohne Dränsystem** bezeichnet. Die Ausstattung beider Flächen mit Meßgeräten erfolgte wie bei dem „Zierrasen" (vgl. Abschnitt „Vorgehensweise").

Das Wasser- und Wärmeregime in Deponieabdeckungen

Zur Demonstration der extremen Bodenverhältnisse auf der Fläche ohne Dränsystem und der vergleichsweise moderaten Verhältnisse im Abdeckboden mit einem Dicht- und Dränsystem werden Meßergebnisse aus dem Jahr 1992 für beide Varianten und für 1993 von der Fläche mit Dränsystem vorgestellt. Es liegen nur für eine verhältnismäßig kurze Zeitspanne Daten beider Meßflächen vor, da die systematische Datenerhebung und der Pflanzversuch auf der alten Fläche bereits 1990 beendet wurde. Die Daten von 1992 wurden nur zu Kontrollzwekken erhoben, erlauben aber prinzipiell einen Vergleich zwischen beiden Abdeckvarianten. Die Abb. 8 zeigt für beide Flächen den Gang der Matrixpotentiale und der Temperaturen in verschiedenen Tiefen.

Die auf der Fläche mit Dränsystem angepflanzten Gehölze wie Robinien, Grauerlen und Weiden zeigen eine ausgeprägte Wüchsigkeit in den Jahren 1992 und 1993. Entsprechend weisen die Matrixpotentiale, erkennbar an einem ausgeprägten Jahresgang, auf eine Wasserentnahme im gesamten Abdeckboden im Jahr 1993 hin. Bis in die Tiefe 100 cm ist ein Jahresgang der Tensiometerwerte zu beobachten, wobei der Boden aber nicht so weit austrocknet, daß die Pflanzen in Wasserstreß geraten. Dies wäre bei diesem Boden etwa bei Potentialen unterhalb von –500 hPa zu erwarten. Prinzipiell ist der jahreszeitliche Verlauf dem einer Zierrasenfläche recht ähnlich (vgl. Abb. 3).

Demgegenüber läßt in Abb. 8 die mit Gräsern und Kräutern inselhaft bewachsene Testfläche ohne Dränsystem nur in der Tiefe 20 cm einen ausgeprägten Jahresgang erkennen. Daraus ist zu schließen, daß sich die Wurzelmasse hauptsächlich in oberflächennahen Bereichen befindet und der Boden in tieferen Zonen nur unvollkommen durchwurzelbar ist. Bei einem potentiellen Wurzelraum von nur wenig mehr als ca. 30 cm Tiefe kann eine gezielte Begrünung nicht durchgeführt werden, weil der Wasser- und Nährstoffspeicher zu gering ist. Von den ursprünglich auf dieser Fläche angepflanzten Gehölzen war mit Ausnahme weniger Robinien der größte Teil bereits nach kurzer Zeit abgestorben.

Der Vergleich der Bodentemperaturen beider Varianten zeigt in Abb. 8 für den Sommer 1992 Werte von mehr als 35 °C in der Fläche ohne Drän- und Dichtsystem. Die höchste Temperatur wird dort in der Tiefe 60 cm gemessen, wobei diese Auffälligkeit vermutlich auf die ausgeprägte Heterogenität des Bodens an diesem Standort zurückgeführt werden kann. Im gleichen Zeitraum werden im Mittel auf der Vergleichsfläche durchschnittlich um 10 °C geringere Werte festgestellt.

Interessant gestaltet sich die Gegenüberstellung zu einem gewöhnlichen Standort wie dem Zierrasen (vgl. Abb. 5). Im Sommer 1992 wird der Abdeckboden mit Dränsystem 25–30 cm unter der Oberfläche um etwa 5 °C wärmer als der Rasenstandort, im Winter dagegen hat er das gleiche Niveau. Wegen der Abbauwärme im Deponieinneren werden mit zunehmender Tiefe die Temperaturunterschiede größer. Die Bodentemperaturen unterhalb der Tonschicht, die von der Einbautiefe des Meßsensors den Werten aus 180 cm Tiefe beim Zierrasen entsprechen, sind im Sommer ungefähr 10 °C und im Winter 1992 etwa 5 °C höher. Der Abdeckboden ohne Dränsystem wird sogar noch um mehrere Grad stärker erwärmt.

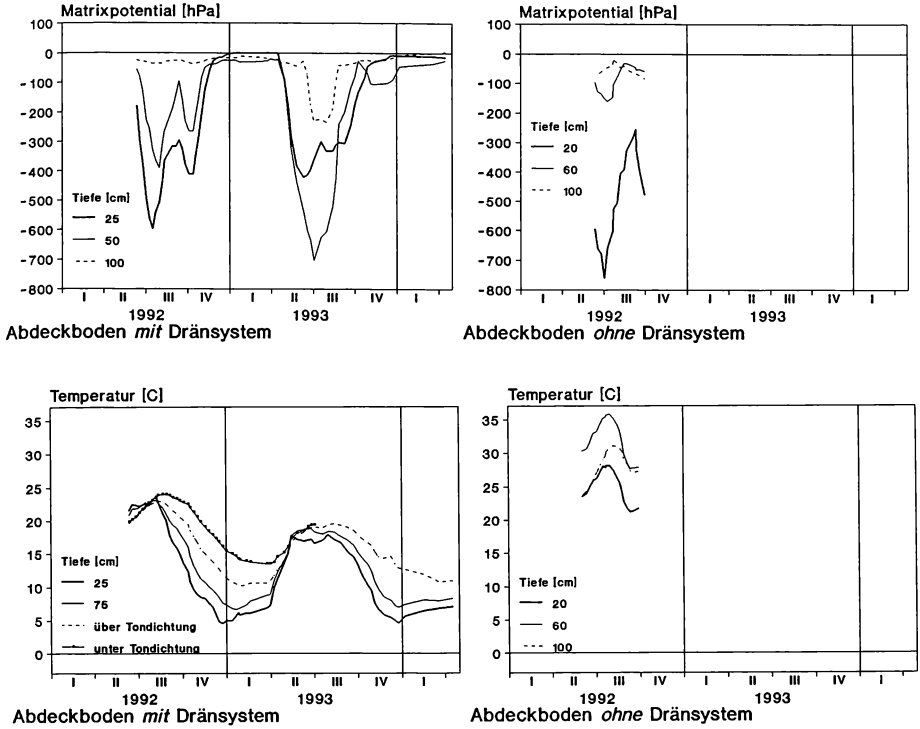


Abb. 8: Jahresgang der Matrixpotentiale und der Bodentemperaturen 1992–93 für einen Abdeckboden mit und einen ohne Drän- und Dichtsystem auf der Deponie Altwarmbüchen.

Die durchschnittlichen Temperaturen im gesamten Bodenprofil erhöhen sich in der Reihenfolge Zierrasen – Fläche mit Dränsystem – Fläche ohne Dränsystem überschlagsmäßig um jeweils etwa 5 °C. Die niedrigeren Werte beim Abdeckboden mit Dränsystem sind vermutlich auf die temperaturausgleichende Wirkung der Tonschicht mit einer hohen thermischen Leitfähigkeit zurückzuführen. Anstelle einiger sehr warmer oder kühler Teilflächen, wie sie auf der Testfläche ohne Dränsystem angetroffen werden, findet eine verhältnismäßig gleichmäßige Wärmeabgabe über die gesamte Fläche auf einem mittleren Temperaturniveau statt.

Die Besonderheit des Deponiestandortes zeigt sich an einem weiteren Merkmal. Hierzu wird der jährliche Verlauf der Wärmeflüsse und der entsprechenden Richtung der Wärmebewegung im Boden betrachtet (Abb. 9). Für diesen Vergleich werden der Deponiestandort mit Dränsystem und ein Standort auf dem Universitätsgelände unter gartenbaulicher Nutzung herangezogen. Die Verhältnisse auf der Gartenbaufläche sind denen der Zierrasenfläche (Abb. 5) ähnlich. Im Jahresverlauf verdeutlichen die Wärmeflüsse in der Tiefe 150–180 cm, daß die hohen Temperaturen auf der Deponie nicht ausschließlich durch die Südexposition der Deponieflächen entstehen. Das ist erkennbar, weil der Wärmestrom ganzjährig ein negatives Vorzeichen hat und demnach Wärme in unterschiedlicher Menge, aber kontinuierlich das ganze Jahr hindurch, aus dem Deponieinneren nach außen fließt. Dieses ist für einen Standort untypisch, dessen Wärmebilanz ausschließlich von der Sonneneinstrahlung abhängt. Im Unterschied zur Deponie ist beim Gartenbau die ausgeglichene Wärmebilanz daran erkennbar, daß die Kurve zu etwa gleichen Anteilen oberhalb der Null Linie (Wärmeaufnahme

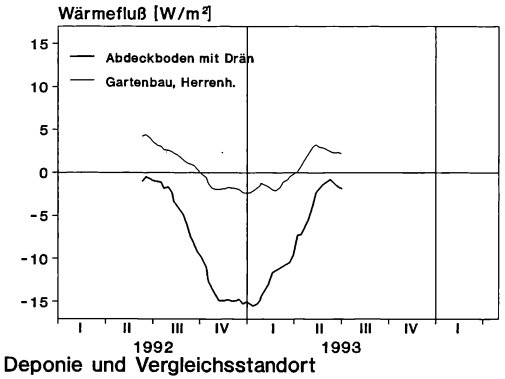


Abb. 9: Wärmeflüsse 1992–93 am Deponiestandort mit Dränsystem und am Vergleichsstandort Gartenbau in Herrenhausen in der Tiefe 150–180 cm.

des Unterbodens von der Bodenoberfläche) und unterhalb der Null-Linie (Wärmeabgabe des Unterbodens) pendelt. Daraus ergibt sich in erster Näherung, daß der winterliche Wärmeverlust durch die positive sommerliche Wärmebilanz kompensiert wird und der Wärmeinhalt im Boden prinzipiell konstant bleibt. Bei einer Südneigung der Fläche wäre der Betrag der Wärmeflüsse etwas größer, die Bilanz müßte aber weiterhin ausgeglichen sein. In den Abdeckböden der Deponie findet dagegen ganzjährig ein Wärmeverlust statt, so daß dieser Standort durch eine ausgeprägte „Heizung" im Untergrund charakterisiert wird.

Bewertung der Flächen

In Hinblick auf eine abschließende Bewertung der Deponiestandorte kann eine deutliche Verbesserung des Wasser- und Wärmeregimes auf der Fläche mit Dränsystem im Vergleich zu der Fläche ohne Drän- und Abdichtungssystem festgestellt werden. Weitere Untersuchungen zeigten, daß auch die Methankonzentrationen der abgedichteten Fläche erheblich geringer sind. Die Abdichtung des Abdeckbodens zum Müll durch eine Folie und eine Tonschicht im Untergrund unterbindet die Migration von Deponiegasen, führt anfallendes Sickerwasser (ca. 200 Liter/m^2 und Jahr) ab und sorgt durch die temperaturausgleichende Wirkung der 0,5 m mächtigen Tonschicht für moderate Temperaturen innerhalb der gesamten Testfläche. Die pflanzenschädliche hohe Variabilität der Bodentemperaturen auf der Fläche ohne Dränsystem, die einen lückenhaften Bewuchs begünstigt, tritt nicht auf.

Über die Entwicklung der gepflanzten Gehölze kann nach dreijähriger Versuchsdauer auf der Testfläche mit Dränsystem noch kein endgültiges Votum gegeben werden. Es bleibt vor allem abzuwarten, ob der Boden auch für die weiter gewachsenen Gehölze ausreichend Wasser und Nährstoffe zur Verfügung stellen kann. Die ersten Jahre sehen in jedem Fall vielversprechender aus als bei den Vorgängerflächen, da dort bis auf wenige Robinien keine Gehölze überlebten.

Fazit

Das Wasser- und Wärmeregime von Stadtböden wird durch unterschiedliche anthropogene Überprägung stark verändert. Eine zunehmende Versiegelung der Oberfläche und der damit verbundene geringere Bewuchs schränken die Verdunstung aus dem Boden und über die Pflanzen ein, gleichzeitig kann ein Teil des Niederschlages in die Kanalisation abfließen. Als Folge vermindern sich die jahreszeitlichen Schwankungen der Bodenfeuchte und die Böden trocknen im Sommer weniger aus. Während unter dichten Vegetationsbeständen die Versikkerung hauptsächlich im Winterhalbjahr stattfindet, kann es bei teilversiegelten und auch bei

vollversiegelten Flächen ganzjährig zu Grundwasserspenden kommen, deren Ausmaße jedoch sehr variabel und schwer kalkulierbar sind. Auch wenn die Sickerraten unter einer „Vollversiegelung" im allgemeinen vergleichsweise gering ausfallen dürften, ist dennoch zu beachten, daß selbst Beton- oder Asphaltdecken eine Boden- oder Grundwasserkontamination nicht immer sicher verhindern können. Unter üblicher Beanspruchung treten Undichtigkeiten in Form von Fugen und Rissen auf, die mit dem Wasser auch Schadstoffe passieren lassen.

Flächenhafte Bilanzierungen für ein Gebiet wie die Stadt Hannover, das durch den kleinräumigen Wechsel unterschiedlichster Oberflächenstrukturen gekennzeichnet ist, erfordern zusätzliche Untersuchungen und weitergehende Ansätze. Hier müßten neben den vertikalen Wasserbewegungen auch laterale ober- und unterirdische Flüsse zwischen verschiedenen Bodenüberformungen in Betracht gezogen werden.

Bei Deponien versucht man, die Grundwasserbelastung durch Basisabdichtungen zu unterbinden. Darüber hinaus sollen kombinierte Oberflächendichtungen die Sickerwassermengen in den Müllkörper verringern und die Abdeckböden zugleich ausgeglichene Verhältnisse für eine gezielte Begrünung gewährleisten. Dazu sind erhebliche Aufwendungen erforderlich. Ein geeigneter Aufbau des Abdeckbodens mit Drän- und Dichtsystem kann den Wasserhaushalt nachhaltig verbessern, das Eindringen von pflanzenschädlichen Deponiegasen verhindern und ausgleichend auf die Bodentemperaturen wirken.

Das Wärmeregime in den Abdeckböden wird von den Abbauprozessen im Deponiekörper geprägt. Im Untergrund produzieren sie, vergleichbar einer „Heizung", ständig Wärme und können den Boden extrem aufheizen. Bei den versiegelten Flächen hingegen finden die entscheidenden Energieumsätze an der Oberfläche statt. Mit zunehmender Überprägung werden die Bodentemperaturen im Jahresmittel angehoben und bei vergleichbaren Winter- und höheren Sommerwerten vergrößert sich die jahreszeitliche Amplitude.

In der Stadtlandschaft bilden sich tiefgründige Wärmeinseln aus, die bis in das Grundwasser hineinreichen. In ähnlicher Weise wie durch die Versiegelung kann auch der Untergrund unter der Deponie aufgrund der ständigen Wärmeproduktion erwärmt werden. Die Folgewirkung ist eine erhöhte Reaktionsgeschwindigkeit chemischer und biologischer Prozesse in Zonen, die meist ohnehin mit anthropogenen Stoffen angereichert sind. Welchen konkreten Einfluß die großflächige Veränderung des Temperaturregimes in Ballungszentren auf die Reaktionen im Grundwasser hat, ist bisher ungeklärt.

Manuskript eingegangen am: 20. Februar 1995

Anschrift der Autoren:
R. Pagel, J. Bachmann, K. H. Hartge
Institut für Bodenkunde
Herrenhäuserstr. 2
30149 Hannover

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover

Jahr/Year: 1995

Band/Volume: 137

Autor(en)/Author(s): Pagel R., Bachmann J., Hartge Karl-Heinrich

Artikel/Article: Das Wasser- und Wärmeregime von anthropogen stark überprägten Stadtböden - Veränderungen unter verschiedenen Versiegelungsarten und in

Deponieabdeckungen 109-123