Hildesheimer Geographische Studien Bd. 5	2015	S. 64 – 89

Urbane Böden im Kontext von Ecosystem Services

Martin Sauerwein, Jan-Philip Dieck & Robin Stadtmann

Zusammenfassung

Zu Ecosystem Services gibt es eine umfangreiche aktuelle Diskussion. Diese findet zum Großteil auf theoretischer Ebene statt, wobei sich unterschiedliche Ansätze ausweisen lassen. Der vorliegende Beitrag greift diese Auseinandersetzungen auf und diskutiert sie hinsichtlich der Bereitstellung von Services durch die Böden im urbanen Raum. Bei allen Diskussionen gibt es nahezu keine empirischen Befunde zur Bedeutung des Geofaktors Boden. Zum einen wird die Bedeutung der Böden im urbanen Ökosystem unterschätzt, um anderen liegt dies an der Vielfalt der urbanen Böden selbst. Letzterem kann mit dem Stadtstrukturtypenansatz begegnet werden, der Regelhaftigkeiten auch der urbanen Pedosphäre aufzeigt. Am Beispiel der Stadt Hildesheim wird aufgezeigt, wie Stadtstrukturtypenansatz und Bodenwissen perspektivisch räumliche Aussagen zur Bereitstellung von Ecosystem Services durch die urbane Pedosphäre zulassen.

Schlüsselwörter: Stadtböden, Ecosystem Services, Stadtstrukturtypen, Konzeptbodenkarte, Hildesheim

Summary

About ecosystem services there is an extensive current debate. This will largely take place at the theoretical level, where different approaches can be identified. This paper addresses these conflicts and discuss them in the provision of services through the soils in urban areas. In all discussions there is almost no empirical evidence on the importance of the geofactor soil. Firstly, the importance of soil in the urban ecosystem is underestimated, to others it is due to the diversity of urban soils themselves. The latter can be countered with the urban structural unit approach, which shows regularities also of the urban pedosphere. By the example of the city of Hildesheim it is shown how the urban structural unit approach and knowledge about soils perspective permit spatial statements for the provision of ecosystem services by the urban pedosphere.

Keywords: urban soils, ecosystem services, urban structural units, concept soil map, Hildesheim

1 Modellvorstellungen der Ecosystem Services Ansätze

Die Diskussionen und Forschungsansätze um Ecosystem Services sind hochaktuell. Im Jahr 2014 gab es ca. 1.400 wissenschaftliche Artikel dazu, im Jahr 2004 waren es gerade ca. 100 (DELGADO & MARIN 2015:25). Es handelt sich bei den Ecosystem-Services-Ansätzen um weiter zu entwickelnde Konzepte (FISHER et al. 2009: 643) mit einer großen Bandbreite an Zugängen (LOFT & LUX 2010: 2).

Bereits BOLUND & HUNHAMMAR (1999: 294) stellen fest, dass es sich bei der Identifikation und Bewertung von Ecosystem Services um ein „site-specific" Konzept handelt und selbige sehr unterschiedlich stark ausgeprägt sein können. Da nach FISHER & TURNER (2008) die Koexistenz verschiedener Ecosystem Service-Modellvorstellungen für verschiedene Zwecke gerechtfertigt ist, sollen im Folgenden Überlegungen vorgestellt werden, die urbane Böden im Fokus haben.

Grundsätzlich können zwei Modellvorstellungen unterschieden werden, die sich zwar in vielen Punkten sehr ähnlich (teilweise auch gleich) sind, aber die Definition von Ecosystem Services unterschiedlich auffassen und abgrenzen, sowie dem Ökosystem bzw. den Ecosystem Services unterschiedlich Nutzen und Werte zuweisen (Tab. 1).

Allen Konzepten gemein ist, dass sie Ecosystem Services als anthropozentrisches Konzept auffassen, d.h. es gibt Ecosystem Services, weil sie menschliche Bedürfnisse befriedigen (vgl. z.B. LOFT & LUX 2010: 12; DOMINATI 2013: 135; DOMINATI et al. 2010: 1859; COSTANZA et al. 2011: 1; TEEB 2010: 9; HAINES-YOUNG & POTSCHIN 2013: 11; DE GROOT et al. 2002: 395, HAASE et al. 2014).

Als Vorreiter der aktuellen Ecosystem Services Diskussionen dürften COSTANZA et al. (1997) gesehen werden (WALLACE 2007: 236). Die wohl bekannteste Definition und Klassifikation ist die des Millennium Ecosystem Assessment (MEA) Report aus dem Jahr 2005, die Ecosystem Services als *„benefits people obtain from ecosystems"* (MEA 2005:1, zit. u.a. in WALLACE 2007: 244) definiert. Aus diesen Vorteilen („benefits") kann abgeleitet werden, dass dem Menschen ein Wohlergehen („human well-being") durch das Ökosystem generiert wird (MEA 2005: iii). Menschliches Wohlergehen wird im Allgemeinen als „Lebensqualität" aufgefasst (TEEB 2010: 43). Auf Grundlage des MEA-Reports werden die Ecosystem Services nach ihrer „Funktion" in vier Kategorien eingeteilt, sowie beispielhafte Services genannt (MEA 2005: vi, BASTIAN et al. 2013):

- Provisioning Services (z.B. Nahrung, Wasser, Bau-/Rohstoffe),
- Regulating Services (z.B. Klimaregulation, Krankheitsregulierung),
- Cultural Services (z.B. Erholung, spirituelle und ästhetische Werte) und
- Supporting Services (die den anderen als Grundlage unterliegen, z.B. Primärproduktion).

Tab. 1: Definitionen und Autoren verschiedener Ecosystem Service-Modellvorstellungen.

Modellvorstellung 1	**Modellvorstellung 2**
Ecosystem Services sind Vorteile/Leistungen, die sich der Mensch aus dem Ökosystem zu Nutzen macht.	Ecosystem Services sind die vorteilhaften Ströme, die aus einem natürlichen Kapital entstehen und menschliche Bedürfnisse erfüllen können.
Autoren:	Autoren:
COSTANZA 2008	DOMINATI 2013
COSTANZA et al. 2014	DOMINATI et al. 2014
COSTANZA et al. 2011	DOMINATI et al. 2010
COSTANZA et al. 1997	ROBINSON et al. 2012
MEA 2005	ROBINSON et al. 2013a,b
LOFT & LUX 2010	WALLACE 2007
GRUNEWALD & BASTIAN 2013	BOYD & BANZHAF 2006
BASTIAN et al. 2012	HAINES-YOUNG & POTSCHIN 2013
DE GROOT et al. 2002	HAINES-YOUNG & POTSCHIN 2009
WALLACE 2007	POTSCHIN & HAINES-YOUNG 2011

1.1 Modellvorstellung 1

In dieser Modellvorstellung werden Ecosystem Services als Vorteile definiert, die der Mensch sich aus einem funktionierenden Ökosystem zu Nutzen machen kann (COSTANZA et al. 2011:1; COSTANZA 2008). Die Definition, die der MEA-Report (2005) gibt, wird hier beibehalten und Ecosystem Services mit Vorteilen gleichgesetzt („Ecosystem Services are the benefits […]"; vgl. MEA 2005: 1). Ebenso stellen Ecosystem Services eine Art Kapital dar und existieren nur, wenn sie auch tatsächlich zu menschlichem Wohlbefinden beitragen (COSTANZA et al. 2011: 1; DE GROOT et al. 2002: 395). Nach COSTANZA et al. (2014) sind Ecosystem Services „der Beitrag des natürlichen Kapitals zu menschlichem Wohlergehen und fließen nicht direkt" (COSTANZA et al. 2014: 153). Sie bilden nach WALLACE (2007: 240) das Ende einer kausal aufeinanderfolgenden Verkettung und sind an dem Punkt Ecosystem Service, an dem ein Ökosystem direkt einen Vorzug („asset") bereitstellt, der durch den Menschen genutzt wird.

Ökosystemprozesse („Ecosystem processes“) und –funktionen („Ecosystem functions“) stehen zwar als unterstützende Komponenten den Ecosystem Services bei, sind als biophysikalische Zusammenhänge jedoch nicht synonym mit Ecosystem Services zu verstehen (COSTANZA 2011: 1). Außerdem wird eine Differenzierung der „finalen Ecosystem Services“ (Ende der Verkettung) und „intermediären Services“ vorgenommen (WALLACE 2007), letztere als Zwischenschritte auf dem Weg zum endgültigen Service. Im Sinne von COSTANZA (2011) könnte hier von Prozessen gesprochen werden, WALLACE (2007) merkt dazu an, dass sich aufgrund der derzeitigen Begriffsbestimmung die zur Bereitstellung von Ecosystem Services führenden Prozesse nicht genau von den Ecosystem Services als Produkt trennen lassen (zit. in LOFT & LUX 2010: 3). LOFT & LUX (2010: 3) führen hierzu aus, dass Ökosystemfunktionen als Ecosystem Services bezeichnet werden, wenn der Funktion ein anthropogener Nutzen beigemessen werden kann. So werden Funktionen und Prozesse immer dann zu Ecosystem Services, wenn der Mensch einen direkten oder indirekten Nutzen aus ihnen ziehen kann (LOFT & LUX 2010:6) und dieser Beitrag des Ökosystems zum menschlichen Wohlergehen auch tatsächlich genutzt wird (BASTIAN et al. 2012: 9). Einzelne Prozesse sind nicht spezifisch einem einzelnen Ecosystem Service zuzuordnen oder mit der menschlichen Wertung verbunden, vielmehr stellen sie die generelle Grundlage entlang aller Kategorien bereit (WALLACE 2007: 242).

WALLACE (2007) ist einer der ersten Autoren, der sich von dem grundlegenden Konzept des MEA (2005) löst, da nach seiner Auffassung Zwischenschritte („means“; Prozesse) mit Enden (Ecosystem Services) vermischt und durcheinandergebracht werden (vgl. WALLACE 2007: 236).

1.2 Modellvorstellung 2

In dieser Modellvorstellung werden Ecosystem Services als vorteilhafte/nutzbringende Ströme („beneficial flows“) definiert, die aus einem natürlichen Kapital („natural capital [stocks]“) entstehen und menschliche Bedürfnisse/Nutzen erfüllen (DOMINATI et al. 2010: 1859, 1866). Sie sind der Beitrag zu menschlichem Wohlergehen und durch eine Anzahl von „finalen“ Services beschrieben (POTSCHIN & HAINES-YOUNG 2011). Final bedeutet hier (im Sinne von CICES, vgl. HAINES-YOUNG & POTSCHIN 2013: 8) der Beitrag, der als Output des Ökosystems zu sehen ist und einen Input in die Gesellschaft bringt (ROBINSON et al. 2010: 326). In dieser Modellvorstellung wird eine klare Trennung zwischen den Ecosystem Services (als intermediäres Produkt zwischen dem natürlichen und „menschlichen“ System, (vgl. POTSCHIN & HAINES-YOUNG 2011; DOMINATI et al. 2014: 248) und dem menschlichen Vorteil gemacht. Ein Vorteil entspricht somit nicht einem Ecosystem Service (DOMINATI et al. 2014: 248). Ecosystem Services sind keine Prozesse (oder gar Kapital), sondern werden als Ströme aufgefasst (DOMINATI et al. 2010: 1859; HAINES-YOUNG & POTSCHIN 2013: 14; ROBINSON et al. 2013a). Ökosysteme sind als natürliches Kapital begrifflich gefasst, um den Unterschied zu aufgebautem oder menschlichem Kapital zu verdeutlichen (DOMINATI et al 2014: 246).

Diese Ströme lassen sich als „Dividende“ auffassen, die der Gesellschaft aus dem natürlichen Kapital zufließt, auch wenn es für die meisten Ecosystem Services keine festgelegten Preise gibt, oder sie auf dem freien Markt gehandelt werden (TEEB 2010: 9ff.). Somit sind viele dieser bereitgestellten Ecosystem Services immaterieller Art und können weder bevorratet noch als Rate gemessen werden (DOMINATI 2013: 135). Jedoch kann dem Vorteil, der aus den Ecosystem Services entsteht, ein Wert beigemessen werden, der Wert für den Menschen (HAINES-YOUNG & POTSCHIN 2013:14; POTSCHIN & HAINES-YOUNG 2011). Außerdem ist es nach ROBINSON et al. (2013a: 2025) die Veränderung innerhalb der Ecosystem Services oder im natürlichen Kapital, die gemessen wird, und nicht der Service selbst.

Das natürliche Kapital, das den Ausgangspunkt bildet, ist ein „Vorrat“ des Ökosystems und besteht aus natürlichen „Guthaben“ („assets“), die einen Strom an Ecosystem Services erbringen (DOMINATI et al. 2010: 1858). Dieses Kapital kann als Ressource aufgefasst werden (SAMARASINGHE et al. 2013: 7). Nach COSTANZA et al. (1997) ist natürliches Kapital „der Vorrat an Material oder Informationen, die in einem Ökosystem enthalten sind“ (zit. in ROBINSON et al. 2013b: 3). Die TEEB-Studie führt weiter aus,

dass natürliches Kapital als ökonomische Metapher aufzufassen sei, die den begrenzten Vorrat der Erde an Ressourcen beschreibt (TEEB 2010: 43).

Das Ökosystem, natürliche Elemente, Funktionen und Prozesse, die räumlich und zeitlich miteinander verbunden sind, sind innerhalb der Ökologischen Infrastruktur zusammengefasst. Diese bildet die Organisationseinheit zur Bereitstellung von Ecosystem Services (DOMINATI 2013: 135) und beinhaltet ebenfalls sämtliche andere Sphären (DOMINATI et al. 2014: 255; vgl. Abb. 1).

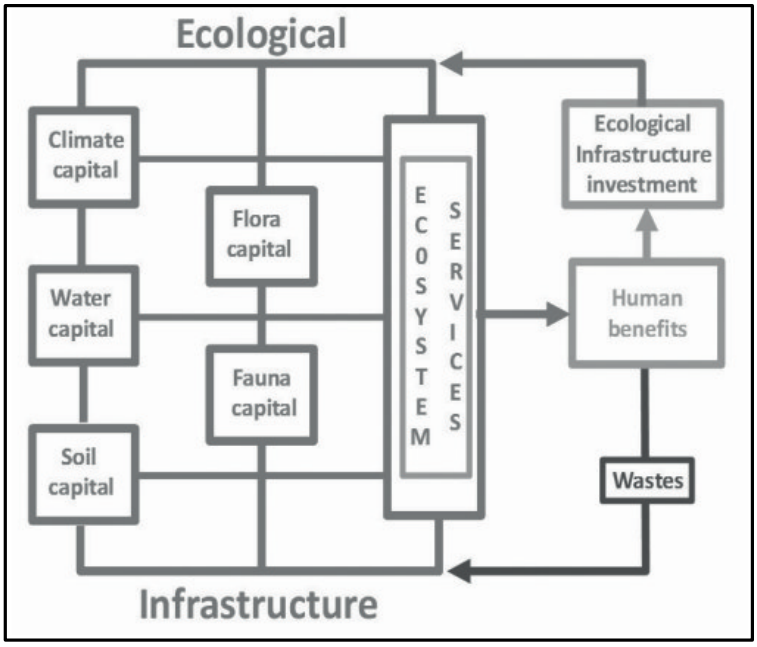

Abb. 1: Ökologische Infrastruktur als Organisationseinheit des natürlichen Kapitals (DOMINATI 2013: 135).

1.3 Diskussion der Modellvorstellungen

Innerhalb der Modellvorstellung 1 werden Ecosystem Services und Vorteile allgemein als identisch definiert (vgl. hierzu auch ROBINSON et al. 2013a: 1024). Diese Definition ist so formuliert, dass eine Dienstleistung (so wird Service in der deutschsprachigen Literatur häufig übersetzt) mit dem Nutzen gleichgesetzt wird. Somit wäre beispielsweise der Ecosystem Service „Nahrungsmittelproduktion" gleichzeitig auch Vorteil. Jedoch sollte hier bedacht werden, dass zwar aus dem Ecosystem Service ein Vorteil (die Nahrung) entsteht, dieser Service (die Produktion) aber noch nicht direkt als Vorteil aufzufassen ist.

Aus dieser Sicht bietet Modellvorstellung 2 die passendere Definition, wenn sie bezüglich Ecosystem Services von vorteilhaften Strömen spricht, die menschliche Nutzen oder Bedürfnisse erfüllen können. Somit sind nicht mehr direkt die Ecosystem Services (wie z.B. Nahrungsmittelproduktion) der Vorteil, sondern werden (im Fall von Nahrungsmittelproduktion) vorteilhafter Strom, der zu einem menschlichen Wohlergehen führen kann, wenn die Nahrung als Endprodukt einen menschlichen Nutzen erfüllt.

Es wird häufig davon ausgegangen, dass Ecosystem Services durch den Menschen genutzt werden müssen, damit sie als solche bezeichnet werden können. Zwar sprechen viele Autoren von einem anthropozentrischen Konzept und davon, dass es Ecosystem Services gibt, weil sie menschliche Bedürfnisse erfüllen (vgl. z.B. LOFT & LUX 2010:12; DOMINATI 2013: 135; DOMINATI et al. 2010: 1859; COSTANZA et al. 2011: 1; TEEB 2010: 9; HAINES-YOUNG & POTSCHIN 2013: 11; DE GROOT et al. 2002: 395), jedoch soll auf den Widerspruch hingewiesen werden, der sich beispielsweise anhand der Abflussregulierung/Verhinderung von Hochwasser ergibt. Die direkte Nutzung bleibt aus, es entsteht eher ein indirekter Vorteil, von dem der Mensch profitieren kann, auch wenn ihm nicht bewusst ist, dass er diesen Service „nutzt".

Weiterhin wird in Modellvorstellung 1 aus Ecosystem Services eine Art Kapital des Ökosystems gemacht (vgl. COSTANZA et al. 2011:1). Die Speicherbarkeit der Ecosystem Services (wie sie für ein Kapital gegeben sein müsste; vgl. DOMINATI et al. 2010: 1859) ist jedoch anzuzweifeln, da beispielsweise die Produktion von Nahrung nicht bevorratet werden kann, sondern lediglich das produzierte Gut, die Nahrung. Wohl aber kann, und hier ist Modellvorstellung 2 weitaus treffender, das Kapital (die Eigenschaften, die zu einem Ecosystem Service führen) gespeichert und verändert werden. Somit bilden Ecosystem Services folgerichtig die vorteilhaft fließenden Ströme, die aus dem natürlichen Kapital entstehen und nicht gespeichert werden können. Schlussfolgernd aus obigen Überlegungen sind in Tab. 2 die im Folgenden verwendeten Begriffe charakterisiert bzw. definiert.

Tab. 2: Charakterisierung/Definitionen.

Ecosystem Services sind zunächst allgemein in Anlehnung an den Millennium Ecosystem Assessment Report „benefits people obtain from ecosystems“ (MEA 2005:1). Da diese Definition allerdings sehr ungenau formuliert ist und Ecosystem Services nicht bevorratet werden können (DOMINATI 2013:135), muss von dieser Definition abgewichen werden und folgende bevorzugt werden: „**Ecosystem Services sind die vorteilhaften/nutzbringenden Ströme, die aus natürlichen Kapital entstehen und menschliche Bedürfnisse erfüllen“** (Dominati et al. 2010: 1861). Eine Einteilung in drei Kategorien scheint auch innerhalb der aktuellen Diskussion gerechtfertigt und umfasst folgende übergeordnete Service-Kategorien: (1) Provisioning Services, (2) Regulating Services und (3) Cultural Services (DOMINATI 2013: 133f.; DOMINATI et al. 2010: 1863).
Natürliches Kapital („natural capital [stocks]“) beschreibt als ökonomische Metapher (TEEB 2010: 43) **die Vorräte, die ein Ökosystem bevorratet** (Dominati et al. 2010: 1858), **und die Ströme („flows“) der natürlichen Ressourcen und Ecosystem Services, die hieraus entstehen** (DOMINATI et al. 2010: 1861).
Das **natürliche Kapital des Bodens** („soil natural capital“; SNC) (vgl. Kap. 2) kann ausgegliedert werden, um im Speziellen die Pedosphäre zu beschreiben. **Das natürliche Kapital des Bodens kann durch die Eigenschaften des Bodens charakterisiert werden** (DOMINATI et al. 2010: 1861), die zunächst in inhärente Eigenschaften (z.B. Hang, Gründigkeit, KAK) und regulierbare Eigenschaften (z.B. lösliches Phosphat, mineralischer Stickstoff), ebenso aber auch in abiotische und biotische Bestände, unterschieden werden können (DOMINATI et al. 2010: 1862; ROBINSON et al. 2013a). Innerhalb des natürlichen Kapitals des Bodens finden Prozesse statt, ebenso wie es durch Prozesse von außerhalb in seinen Eigenschaften beeinflusst werden kann (ROBINSON et al. 2012: 2). Darüber hinaus **stellt es über (vorteilhafte) Ströme, die aus ihm entstehen, Ecosystem Services bereit** (DOMINATI et al. 2010: 1859).
Ökologische Infrastruktur („Ecological Infrastructure“) ist die **methodische Organisationseinheit, in der natürliche Elemente (natürliches Kapital), Funktionen und Prozesse zusammengefasst sind, die zeitlich und räumlich miteinander verbunden sind** (DOMINATI 2013: 135). Aus dieser Infrastruktur (die im Wortsinn als Unterbau verstanden werden kann) fließen Ecosystem Services als vorteilhafte Ströme.
Ecosystem Functions wurden in der Vergangenheit häufig synonym mit Ecosystem Services verwendet (DOMINATI et al. 2010: 1858). Ecosystem Functions sind jedoch von Ecosystem Services klar zu trennen, da sie als Funktionen (innerhalb des natürlichen Kapitals) nur **als unterstützende oder bereitstellende Komponente von Ecosystem Services** angesehen werden können.
Ecosystem Processes (Ökosystemprozesse) beschreiben die **Umwandlung von Input in Output** und beinhalten physikalische, chemische und biologische Komponenten (DOMINATI et al. 2010: 1859).

2 Ecosystem Services der Pedosphäre – Boden als natürliches Kapital

Ausgehend von der allgemeinen Definition von natürlichem Kapital wurde von einigen Autoren eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Pedosphäre vorgenommen und diese im Speziellen mit der Bereitstellung von Ecosystem Services in Zusammenhang gebracht. Auch hier gilt gemäß der Definition von DOMINATI et al. (2010: 1859, 1866), dass Ecosystem Services vorteilhafte Ströme sind, die aus dem natürlichen Kapital entstehen und menschliche Bedürfnisse/ Nutzen erfüllen. Jeder Service, der dem Boden zugeschrieben werden kann, ist das Produkt von vielfältigen Eigenschaften und Prozessen, die den Service untermauern (DOMINATI et al. 2010: 1861).

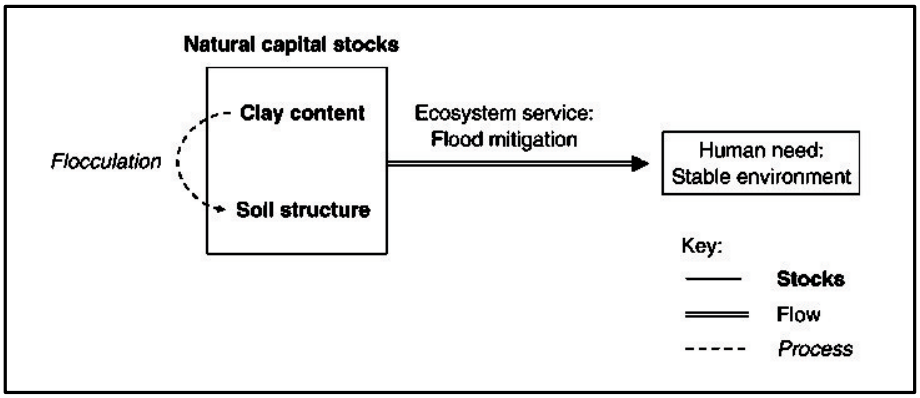

Abb. 2: Prozesse innerhalb des natürlichen Kapitals führen zu Umwandlungen (DOMINATI et al. 2010: 1859).

Für die Bereitstellung von Ecosystem Services können folgende Aufgaben des Bodens identifiziert werden (DOMINATI et al. 2010: 1860):

- Nährstoffrolle („fertility role“),
- Filter- & Reservoirrolle („filter & reservoir role“),
- Strukturelle Rolle („structural role“),
- Klimaregulierungsrolle („climate regulation role“),
- Biodiversitätserhalt („biodiversity conservation“),
- Ressourcenrolle („ressource role“).

Das natürliche Kapital des Bodens („soil natural capital“) beschreibt den Vorrat an natürlichen Anlagen/Guthaben („assets“), die einen Strom natürlicher Ressourcen oder Ecosystem Services erbringen (DOMINATI et al. 2010: 1861, Abb. 2). Es kann durch die Eigenschaften des Bodens charakterisiert werden und diese jeglichen Komponenten des Bodens zugeschrieben werden, die gemessen und zur Beurteilung genutzt werden können (DOMINATI et al. 2010: 1861). Somit können zwar nicht die Ecosystem Services (vgl. DOMINATI 2013: 135), wohl aber die zugrundeliegenden Eigenschaften gemessen und bewertet werden. Diese Eigenschaften spiegeln üblicherweise die drei Dimensionen (physikalisch, chemisch, biologisch) wieder und stehen untereinander, sowie mit den anderen Komponenten des Bodens in Wechselbeziehung (DOMINATI et al. 2010: 1861). Innerhalb des natürlichen Kapitals des Bodens finden Prozesse statt, die zu Strömen und Umwandlungen der Vorräte führen, was eine Veränderung dieser zur Folge hat. Ecosystem Services resultieren aus dem Strom von Material und Energie (ROBINSON et al. 2012: 2). Ebenfalls lassen sich die Vorräte des natürlichen Kapitals (im Gegensatz zu Ecosystem Services!) speichern (DOMINATI et al. 2014: 255). Allerdings ist dadurch auch die Bereitstellung von Ecosystem Services in Abhängigkeit vom natürlichen Kapital limitiert (HEWITT et al. 2015: 108).

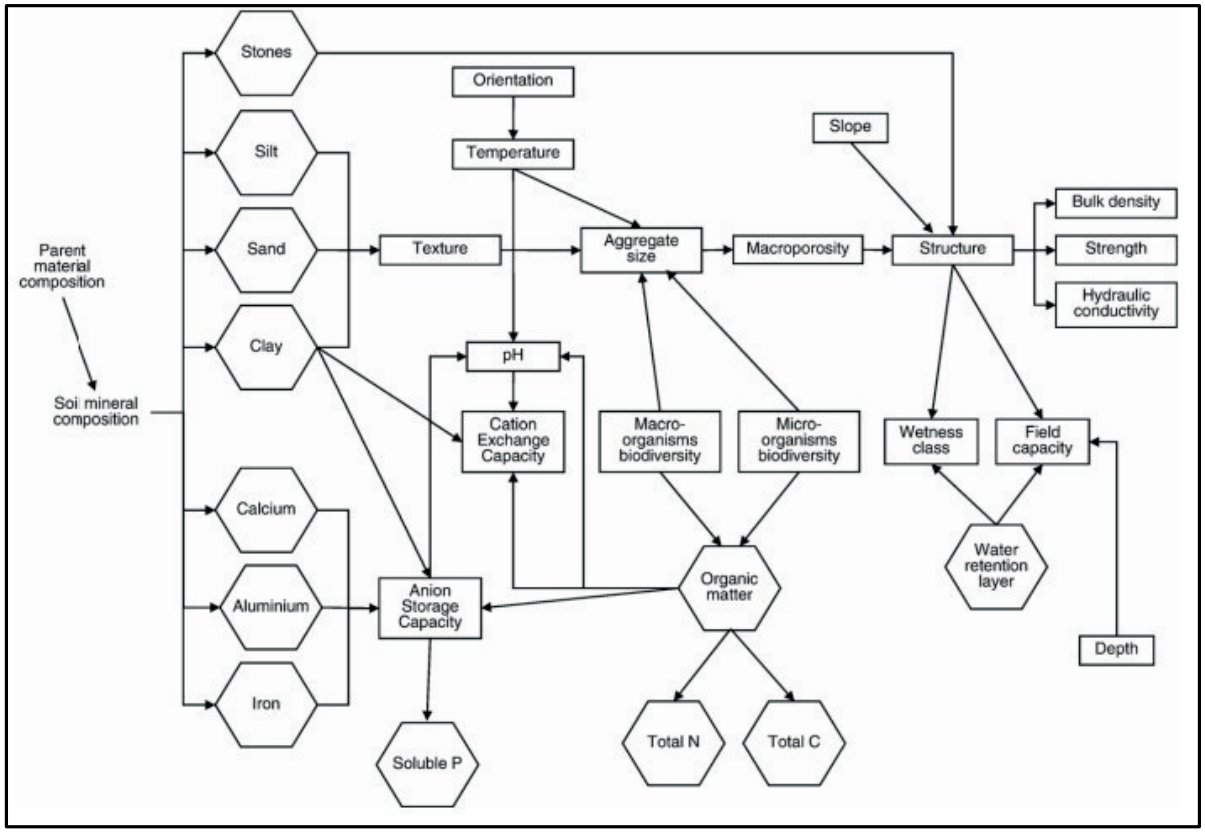

Abb. 3: Vereinfachter Zusammenhang zwischen Komponenten (Hexagone) und Eigenschaften (Rechtecke) des Bodens (DOMINATI et al. 2010: 1864).

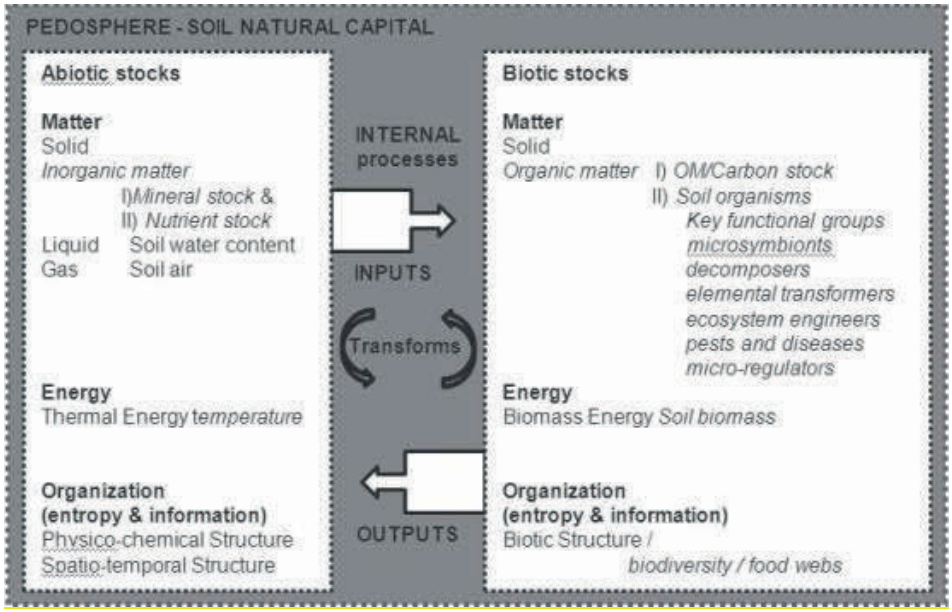

Abb. 4: Natürliches Kapital des Bodens nach ROBINSON et al. (2013b: 3).

Es erfolgt weiterhin eine Distanzierung von den im MEA-Report (2005) genannten Supporting Services, die als Supporting-Prozesse ausgegliedert und angesprochen werden, da sie die Bildung des natürlichen Kapitals des Bodens und das Funktionieren des Bodens zwar unterstützen, jedoch nicht als (für den Menschen nutzbringender) Service wirken (DOMINATI et al. 2010: 1862; DOMINATI 2013: 133). Diese Benennung sollte bevorzugt werden, weil sie den wichtigen Unterschied zwischen Prozessen und Services betont (DOMINATI 2013: 133). Die Supporting-Prozesse beinhalten Bodenbildung, Nährstoffzyklus und Wasserzyklus (DOMINATI 2013: 133; DOMINATI et al. 2010: 1862). Der Boden ist somit Vorrat, der

einen Beitrag zu finalen Ecosystem Services liefert, primär durch stattfindende Supporting-Prozesse (ROBINSON et al. 2012: 3). Diese Prozesse sind im Kern der Pedogenese enthalten und bauen die physikalischen, chemischen und biologischen Vorräte des Bodens auf.

Hinsichtlich der Beschreibung, was Kapital des Bodens ist, unterscheiden sich einige Autoren voneinander, können jedoch eher ergänzend als konträr angesehen werden. DOMINATI et al. (2010) untergliedern das natürliche Kapital des Bodens zunächst in inhärente Eigenschaften (z.B. Hang, Gründigkeit, KAK, Ton-Typen [„clay-types"]) und regulierbare Eigenschaften (z.B. lösliches Phosphat, mineralischer Stickstoff, organische Substanz; vgl. Abbildung 4). Erstere können nicht verändert werden, ohne eine signifikante Veränderung des Bodens auszulösen, letztere können beispielsweise durch den Einsatz von Dünger gesteuert werden (DOMINATI et al. 2010: 1862). ROBINSON untergliedert das natürliche Kapital des Bodens in inhärente und dynamische Eigenschaften (ROBINSON et al. 2009, zit. in DOMINATI et al. 2010: 1862). In einer späteren Studie unterscheiden ROBINSON et al. (2013b; vgl. Abb. 4) zwischen abiotischen Beständen („abiotic stocks") und biotischen Beständen („biotic stocks") als „Bausteine" der Pedosphäre, die auch Dominati et al. 2010 und Dominati 2013 übernehmen. Die abiotische Komponente stellt die Rohstoffe bereit, die durch die biotische Komponente verarbeitet werden (ROBINSON et al. 2013b: 3), somit entstehen gegenseitige Wechselwirkungen von In- und Output sowie Ströme von Masse und Energie. Weiterhin wird eine Differenzierung hinsichtlich „Stock-Flows" (Ströme aus der Ökologischen Infrastruktur) und „Fund-Services" (als solche aus den „Stock-Flow"-Prozessen resultierend) vorgenommen. Die Kombination beider bildet die Ecosystem-Services-Bereitstellungskette (ROBINSON et al. 2013a: 1026).

Da Boden ein dynamisches System ist, das kontinuierlich durch Bodenbildungsprozesse modifiziert und durch anthropogene Veränderungen beeinflusst wird (ROBINSON et al. 2013b: 3), stehen den Prozessen, die an der Bildung des natürlichen Kapitals des Bodens beteiligt sind, ebenfalls Prozesse gegenüber, die das Kapital mit der Zeit degradieren (können). Der Verlust von natürlichem Kapital bedeutet im Umkehrschluss auch einen Verlust von Ecosystem Services (DOMINATI et al. 2010: 1864). Hier seien beispielhaft Erosion, Versiegelung, Verdichtung und Verlust von Nährstoffen genannt. Diese Prozesse können durch eine Vielzahl an Faktoren beeinflusst werden und beinhalten sowohl natürliche, als auch anthropogene Einflussfaktoren (DOMINATI et al. 2010: 1864ff., DOMINATI 2013: 135).

Das in Abb. 5 dargestellte Grundgerüst repräsentiert auf seiner rechten Seite die Anthroposphäre und zeigt, wie Ecosystem Services durch die aus der Ökologischen Infrastruktur kommenden Ströme menschliche Bedürfnisse erfüllen. Die Anthroposphäre ist als ein Teil der Biosphäre zuzuordnen und enthält die verschiedenen anthropozentrischen („aufgebauten") Kapitale (DOMINATI et al. 2013: 135). Die linke Seite enthält die „Erd-Ressourcen" (zusammengefasst als Ökologische Infrastruktur und hier im Speziellen die Pedosphäre als eine dieser Ressourcen darstellend; DOMINATI et al. 2014: 255). Innerhalb der Ökologischen Infrastruktur stehen die einzelnen Sphären untereinander, sowie in sich selbst durch Ströme von Material und Energie in Verbindung (Dominati et al. 2013: 136). Anthropogene Einflussfaktoren verändern das natürliche Kapital (die ökologische Infrastruktur) und somit die Bereitstellung von Ecosystem Services (DOMINATI et al. 2013: 135).

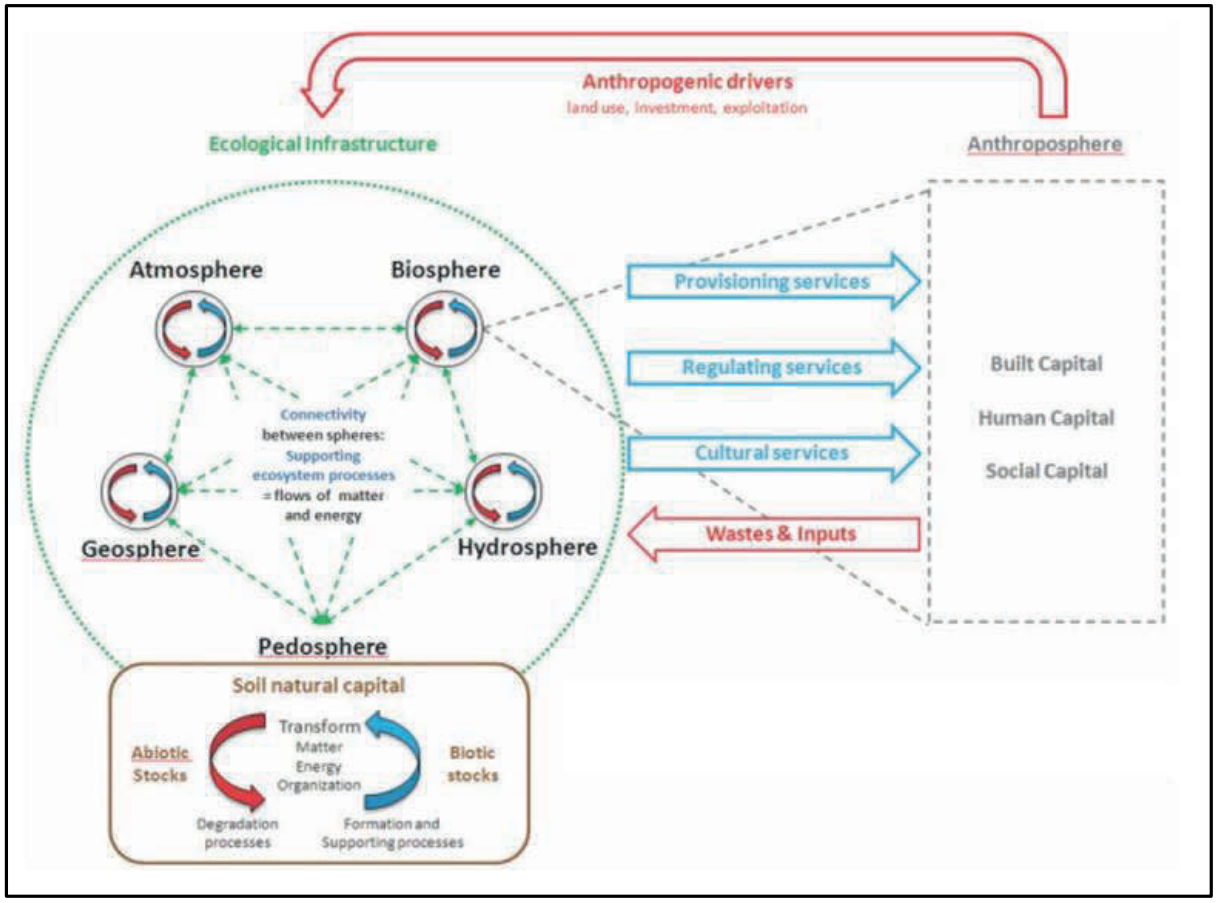

Abb. 5: Zusammenfassende Darstellung der Bereitstellung von Ecosystem Services aus der Ökologischen Infrastruktur unter besonderer Berücksichtigung des natürlichen Kapitals des Bodens (DOMINATI 2013: 136).

Für eine Quantifizierung und Bewertung von Ecosystem Services der Böden schlägt DOMINATI (2013: 136) folgendes Vorgehen vor:

1. Boden-Services und Supporting-Prozesse unterscheiden,
2. Schlüsseleigenschaften und –prozesse hinter jedem Boden-Service identifizieren,
3. Unterscheidung zwischen natürlichem Kapital und aufgebauten („built up“) Kapital,
4. Identifizieren, wo und wie externe Einflussfaktoren natürliches Kapital beeinflussen,
5. Einfluss von Degradationsprozessen auf das natürliche Kapital des Bodens identifizieren,
6. (Ökonomische Bewertung mit den Parametern begründen).

3 Ecosystem Services aus Sicht der Stadtbodenforschung: Kenngrößen und Messgrößen

Folgend aus den oben vorgestellten Modellvorstellungen und Ansätzen zur Untersuchung von Ecosystem Services wird für hier in Teilen das in DOMINATI 2013 (vgl. Abb. 5) vorgestellte Grundgerüst als Definition übernommen, sowie der Modellvorstellung nach DOMINATI et al. (2010) und ROBINSON et al. (2012,2013) gefolgt. Grund hierfür ist einerseits die sehr ausführliche Beschreibung des Kapitals, welches der Bereitstellung von Ecosystem Services zugrunde liegt, andererseits, weil es speziell für die Pedosphäre (das natürliche Kapital des Bodens) entwickelt worden ist. Die Untersuchung des natürlichen Kapitals des Bodens erscheint als geeignetes Instrument zur Untersuchung der daraus entstehenden Ecosystem Services, da sowohl Prozesse, als auch Eigenschaften gemessen und beurteilt werden können.

Auf Grundlage der obigen Modellvorstellung und entsprechender weiterer Literatur sind in Tab. 3, Tab. 4 und Tab. 6 zunächst alle für den Boden identifizierbaren Ecosystem Services auflistet, erläutert und dort wo möglich, natürliches Kapital zuordnet. Weiter sind in den Tabellen Kenngrößen mit aufgeführt, um eine Bewertung des natürlichen Kapitals und der daraus entstehenden Ecosystem Services vornehmen zu können. Es werden jedem Natural Capital / jeder Eigenschaft möglichst Kenngrößen zugeordnet – die später auch messbar sind –, um die entsprechenden Ecosystem Services zu identifizieren.

Dabei wird deutlich von dem Aspekt der ersten Modellvorstellung, Ecosystem Services müssen genutzt werden, damit sie vorliegen, abgewichen und auch solche Ecosystem Services mit einbezogen, die vorhanden und potenziell nutzbar wären. Dies erfolgt, da das zugrundeliegende natürliche Kapital des Bodens untersucht wird und dadurch auch die Bestandsaufnahme von potenziell möglichen Ecosystem Services erfolgen kann.

Bisher keine Beachtung fanden Bewertungsmaßstäbe, die aus verschiedenen Disziplinen stammen können (ökologisch, ökonomisch, soziokulturell; DE GROOT 2002: 395). Häufig einhergehend mit einem anthropozentrischen Konzept ist der Versuch einer Bewertung über den monetären Nutzen des Ökosystems. Da eine rein monetäre Bewertung aber zu eng gefasst wäre und nur einen kleinen Ausschnitt des gesamten Ecosystem Services-Konzept repräsentiert (CALZOLARI et al. 2016: 201), wird auf eine ökonomische Bewertung verzichtet. Ziel ist vielmehr die Bestandsaufnahme von potenziell möglichen Ecosystem Services in der Stadt, sowie ihrer Ausprägung und (wo möglich) die Beurteilung des menschlichen Einflusses auf sie, beziehungsweise auf das ihnen zugrundeliegende natürliche Kapital.

Tab. 3: Provisioning Services der (urbanen) Pedosphäre (Darstellung nach diversen Autoren).

Ecosystem Services	(Soil) Natural Capital / Eigenschaften	Kenngrößen	Schlüssel-Referenzen
• Bereitstellung von Nährstoffen	• Bodenstruktur • Wasserhaltefähigkeit • Nährstoffe • Gründigkeit	• Verteilung Porengröße • Skelettanteil • Bodenart • N-, P-Gehalte • Bestand (i.S. von Deckung) • Bodentyp • Produktion von Nahrung (t/a/a)	• DOMINATI et al. 2010 • DOMINATI 2013 • ROBINSON et al. 2013a • GRUNEWALD & BASTIAN 2013 • GÓMEZ-BAGGETHUN et al. 2013
• Bereitstellung von physikalischer Infrastruktur • Habitatfunktion	• Bodenfestigkeit • Intaktheit d. Bodens • Belastbarkeit • Geomorphologie • Bodenwasserkapazität	• Anteil an organischer Substanz • Gefüge • Bodentyp • Hangneigung und Hanglänge • Exposition • Feuchtigkeit	• DOMINATI et al. 2010 • DOMINATI 2013
• Bereitstellung von Rohstoffen	• Rohstoffe • Tiefe des Profils	• Produktion (t/a)	• DOMINATI et al. 2010 • ROBINSON et al. 2013a
• Bereitstellung von sauberem Trinkwasser	• Filterwirkung • Zurückhaltung und Speicherung von Frischwasser	• Bodentyp • Bodenart • Skelettanteil	• WALL et al. 2004 • GÓMEZ-BAGGETHUN et al. 2013

Tab. 4: Regulating Services der (urbanen) Pedosphäre (Darstellung nach diversen Autoren).

Ecosystem Services	(Soil) Natural Capital / Eigenschaften	Kenngrößen	Schlüssel-Referenzen
• Verhinderung von Flut/ Hochwasser • Abflussregulation	• Bodenstruktur/ Makroporen • Infiltration • Gründigkeit und Steingehalt des Profils • undurchlässige Schichten	• Porengröße • Gefüge • Skelettanteil • Bodenart • Bodentyp • Hangneigung und Hanglänge • Versiegelungsgrad	• DOMINATI et al. 2010 • DOMINATI 2013 • HAASE 2013 • GÓMEZ-BAGGETHUN et al. 2013
• Filterung von Nähr-/Schadstoffen • Abbau von Abfall und Entgiftung	• Tongehalt • Organische Substanz, • Adsorption • Ausfällung	• Bodenart • Anteil an organischer Substanz • pH-Wert • Carbonatgehalt	• DOMINATI et al. 2010
• Biologische Kontrolle von Plagen und Krankheiten	• Feuchtigkeit • Temperatur	• Bodenart • Bodentyp • Skelettanteil	• DOMINATI et al. 2010 • DOMINATI 2013
• Kohlenstoffspeicherung und Regulierung von Treibhausgasen	• Bestände Organischer Substanz, • Feuchtigkeit • Temperatur	• Anteil an organischer Substanz	• DOMINATI et al. 2010
• Klimaregulation	• Aktivität der Bodenfauna, • Vegetation	• Vegetationsflächenanteil (%)	• HAASE 2013 • GÓMEZ-BAGGETHUN et al. 2013 • GRUNEWALD & BASTIAN 2013
• Reduktion von Lärm	----	• Distanz zur Straße (in m) • Vegetationsbedeckung	• GÓMEZ-BAGGETHUN et al. 2013 • HAASE 2013 • BOLUND & HUNHAMMAR 1999
• Bestäubung und Samenausbreitung	• Rolle der Biota	• Spezies-Diversität	• GÓMEZ-BAGGETHUN et al. 2013
• Erosionsschutz	• Rolle der Vegetation/ Wurzelmatrix und Bodenlebewesen • Bodenstruktur	• Hangneigung • Exposition • Flächennutzung • Bodenart	• GRUNEWALD & BASTIAN 2013 • DOMINATI 2013 • GHALEY et al. 2014 • GÓMEZ-BAGGETHUN et al. 2013

Aus den in der Literatur aufgeführten Kenngrößen lassen sich für die Beschreibung urbaner Böden hinsichtlich der provisioning services (Tab. 3) und supporting services die in Tab. 4 aufgeführten Messgrößen zusammenfassen (Tab. 5).

Tab. 5: Im Gelände aufzunehmende bzw. im Labor zu bestimmende Messgrößen.

Gelände	Labor
• Bodentyp • Exposition • Hangneigung und Hanglänge • Bodenfeuchte • Flächennutzung • Vegetationsbedeckung • Versiegelungsgrad und Vegetationsflächenanteil • Distanz zu Straßen	• Anteil an organischer Substanz • Carbonatgehalt • pH-Wert • Bodenart • Skelettanteil • N-, P-Gehalte • Gefüge

Die in Tab. 5 aufgeführten Messgrößen sind standardmäßig im Gelände z.B. mittels KA5 (AD-HOC-AG-BODEN 2005) aufzunehmen bzw. mit standardisierten Labormethoden zu erfassen. Die in Tab. 6 dargestellten Kenngrößen für Cultural Services sind zum Großteil nicht standardisiert „messbar". Hier müssten zukünftig Messgrößen und Kriterien für deren Einordnung entwickelt werden.

Tab. 6: Cultural Services der (urbanen) Pedosphäre (Darstellung nach diversen Autoren).

Ecosystem Services	**(Soil) Natural Capital / Eigenschaften**	**Kenngrößen**	**Schlüssel-Referenzen**
• Kulturelle Identifikation • Information	• Vielfalt natürlicher Bestandteile mit kulturellem Wert	• kulturelle Landschaftselemente	• DOMINATI et al. 2010 • GRUNEWALD & BASTIAN 2013 • DE GROOT et al. 2002 • BOLUND & HUNHAMMAR 1999
• Quelle ästhetischer Erfahrungen • Ästhetische Werte	• Attraktivität der Landschaftsbestandteile	• Flächennutzung • Vegetationstypen	• DOMINATI et al. 2010 • GRUNEWALD & BASTIAN 2013
• Spirituelle Bereicherung • Geistige Werte • Historische Information	• Vielfalt natürlicher Bestandteile mit spirituellem/historischem Wert		• DOMINATI et al. 2010 • DOMINATI 2013
• Erholung • Ökotourismus	• Biologische Struktur • Diversität • Flächengröße	• Erschließungsgrad • touristische Infrastruktur	• DOMINATI et al. 2010 • GÓMEZ-BAGGETHUN 2013 • GRUNEWALD & BASTIAN 2013
• Platz, um Tote zu begraben			• DOMINATI et al. 2010
• Wissen • Erfahrungsgewinn • Erfahrungsentwicklung	• Vielfalt der Natur mit wissenschaftlichem/ pädagogischem Wert	• Natur-/Kulturdenkmale	• DOMINATI et al. 2010 • GRUNEWALD & BASTIAN 2013 • GÓMEZ-BAGGETHUN et al. 2013

4 Kennzeichnung urbaner Böden

Urbane Böden, häufig synonym mit urban-industriellen Böden, Böden städtisch-industrieller Verdichtungsräume, Stadtböden und Siedlungsböden (siehe SAUERWEIN 2006: 12) verwendet, sind gekennzeichnet durch die urban genutzte Fläche, auf der die Böden eine anthropogene Überprägung erfahren

(haben), beziehungsweise dadurch, dass intensive Nutzung veränderte Bodeneigenschaften hervorbringt (SAUERWEIN 2006: 12, SAUERWEIN & SCHOLTEN 2011: 396). Häufig werden urbane Böden auch im Sinne von „anthropogenen inner-urbanen Böden" verstanden, die innerhalb der administrativen Grenzen von Städten liegen (LEHMANN & STAHR 2007: 248). De facto sind urbane Böden die Böden, die am intensivsten und pro Fläche mit den meisten Nutzern genutzt werden (LEHMANN 2006: 129). Ihre Genese ist gekennzeichnet durch Bedingungen, die oftmals nicht in natürlichen Systemen auftreten (NORRA & STÜBEN 2003: 230). Sie sind deutlich durch menschlichen Einfluss geprägt, woraus folgt, dass sich diese Böden (zum Teil deutlich) von denen des Umlandes unterscheiden (BLUME et al. 2010: 369; FRIELINGHAUS et al. 2010: 6). Dieser Einfluss geht weiter als die „Kultivierung" des Bodens (LEHMANN 2006: 129) und wirkt sowohl räumlich, als auch zeitlich (EFFLAND & POUYAT 1997: 217). Städte besitzen einen gänzlich anderen biogeochemischen Kreislauf als „natürliche" Systeme, da menschliche Eingriffe sowohl Input, als auch Output in urbanen Ökosystemen verändern (PAVAO-ZUCKERMAN 2012: 274).

Infolge der menschlichen Veränderungen wurde auch das Relief vielfach durch Abtrag und Auftrag beeinflusst. Hierbei erfolgte häufig ein Auftrag anthropogener Bodensubstrate und Gesteine (BLUME et al. 2010: 369), die urbanen Böden sind dominiert durch das Einbringen von „neuem" Material als Ausgangsgestein (PAVAO-ZUCKERMAN 2012: 270). Häufig liegen Gemenge aus umgelagerten natürlichen und technogenen Substraten vor, seltener Monosubstrate (MEUSER 1996: 305).

Die Veränderungen urbaner Böden können wie folgt zusammengefasst werden: (1) Überbauung, (2) Umlagerung, (3) Vermischung, (4) Verdichtung, (5) Aufhöhung oder Abgrabung, (6) Eintrag von Substanzen, (7) Abtrag von Material und (8) Kontamination (SAUERWEIN 2006: 15, LEHMANN 2006: 130, AMOSSÉ et al. 2015: 1719). Grundsätzlich lassen sich Böden im urbanen Raum in folgende vier Kategorien einteilen:

- Natürliche Böden (grundsätzlich die gleichen wie im Umland),
- Versiegelte Böden (überbaut, überdeckt),
- Böden aus künstlichen Aufträgen natürlicher Substrate (die grundsätzlich einer ähnlichen Bodenentwicklung unterliegen, wie diejenigen aus natürlichen Sedimenten),
- Böden aus technogenen Substraten (das als neues Ausgangsgestein dient und deren Pedogenese stark von der Substrateigenschaft abhängt) (BLUME et al. 2010: 370).

Typisch für eine Stadtlandschaft ist ein Mosaik aus Böden verschiedenster Genese (FRIELINGHAUS et al. 2010: 6). Diese zumeist jungen (das heißt weniger weit entwickelten; vgl. BLUME & LAMP 2004: 69) Böden, zeigen lediglich schwache Anzeichen einer „echten" Pedogenese (LEHMANN 2006: 129). Die Böden sind durch eine hohe räumliche (horizontale und vertikale) Heterogenität gekennzeichnet (GREINERT 2015: 1725; PICKETT et al. 2011: 336; MOREL & HEINRICH 2008: 206) und dieses „Bodenmosaik" kann von Meter zu Meter stark differenziert sein (VASENEV et al. 2014: 103; PICKETT et al. 2011: 336; POUYAT et al. 2010: 130; SAUERWEIN 2006: 16). Dies kann dazu führen, dass die einzelnen „Flecken" ihre Vernetzung verlieren (PICKETT et al. 2011: 355). Diese Umstände machen es häufig schwierig, einen „typischen" urbanen Boden zu identifizieren, da auch die Eigenschaften der (Ober)böden stark variieren (können) (POUYAT et al. 2010: 119 & 138). So können beispielsweise die Veränderung der Reihenfolge von Horizonten oder die Vermischung von Ober- und Unterboden häufig beobachtet werden (GREINERT 2015: 1726). Ebenfalls können in der Stadt mehrere Meter mächtige anthropogene Deckschichten vertreten sein (MEUSER & BLUME 2004: 583) und die Böden eine Mischung aus natürlichen humosen und anthropogen eingetragenen organischen Substanzen besitzen (LORENZ et al. 2006: 313).

Trotz einer erheblichen Veränderung der urbanen Böden konstatieren MEUSER & BLUME (2004), dass mit natürlichen und technogenen Substraten aufgeschüttete Böden prinzipiell einer natürlichen Pedogenese unterliegen (MEUSER & BLUME 2004: 588) (können). Durch Humusauftrag jedoch kann beispielsweise eine natürliche Pedogenese vorgetäuscht sein, Verbraunungsmerkmale sind häufig aufgrund der Einfärbung der Substrate nicht erkennbar (MEUSER & BLUME 2004: 588). Die Anwesenheit von

technogenen Materialien wird als Faktor angesehen, der die urbanen Böden am meisten differenziert/verändert (GREINERT 2015: 1729). Dieses Auftreten führt auch dazu, dass beispielsweise die pH-Werte nicht schätzbar sind und sprunghaft wechseln können (HÖKE et al. 2010: 42). Häufig wird in der Literatur darauf verwiesen, dass die Böden in der Stadt überwiegend erhöhte (alkalische) pH-Werte aufweisen (HELMES 2004: 22).

Herauszustellen ist, dass Urbanisierung Böden hervorbringt, die, verglichen mit nicht-urbanen Böden, als einzigartig in ihrer Struktur und Funktion angesehen werden können (PAVAO-ZUCKERMAN 2012: 271). Viele Autoren konstatieren für urbane Böden häufig als wichtigste Funktion die Eigenschaft als Baugrund und Fläche für Infrastruktur (vgl. z.B. FRIELINGHAUS et al. 2010: 6; MOREL, CHENU & LORENZ 2015: 1662). Im vorliegenden Beitrag wird aber gerade diskutiert, dass Böden (sofern nicht vollständig aus dem natürlichen Kreislauf durch Versiegelung ausgegliedert) mehr Funktionen, und somit letztlich auch Ecosystem Services, erfüllen, als vielfach angenommen und beschrieben, auch wenn diese meist größtenteils in einer Betrachtung ignoriert werden (vgl. z.B. MOREL, CHENU & LORENZ 2015: 1659). SAUERWEIN (2006) formuliert, dass „diese Flächen […] nun aber weitestgehend die Lebensqualität der Bevölkerung einer Stadt […]“ mitbestimmen (SAUERWEIN 2006: 20).

5 Schlussfolgerung: Ecosystem Services urbaner Böden

Auch wenn urbane Böden sehr häufig als gestört angesehen werden, stellen sie eine Anzahl an Ecosystem Services für die Bewohner der Stadt bereit. Sie spielen eine essenzielle Rolle mit ihren Funktionen und Ecosystem Services (MOREL, CHENU & LORENZ 2015: 1660), es werden viele der gleichen Services generiert, wie durch ungestörte, „natürliche“ Böden (ELMQVIST et al. 2015: 101; SETÄLÄ et al. 2014: 243). Häufig werden Böden jedoch erst an zweiter Stelle, nach der Vegetation in der Stadt („Green Infrastructure“), genannt (MOREL, CHENU & LORENZ 2015: 1665) und ihnen wird als „übergeordneter“ Service meistens nur die Bereitstellung von physikalischen Strukturen, dem Baugrund, attestiert (vgl. z.B. PAVAO-ZUCKERMAN 2012: 278; AITKENHEAD-PETERSON et al. 2010: 380). Ausgenommen werden für die Bereitstellung von Ecosystem Services müssen die versiegelten Flächen, auf denen die Fähigkeit, Ecosystem Services zu generieren, abnimmt (SETÄLÄ et al. 2014: 241; PAVAO-ZUCKERMAN 2012: 271), oder völlig verloren geht (CALZOLARI et al. 2016: 193). Dennoch können selbst die am stärksten veränderten Ökosysteme (Böden in der Stadt) noch wichtige Ecosystem Services erbringen (SETÄLÄ et al. 2014: 241; ELMQVIST et al. 2015: 103), häufig sogar die gleichen, wie bei unveränderten, „natürlichen“ Böden (POUYAT et al. 2010: 121).

Jedoch muss auch festgehalten werden, dass Städte häufig die Möglichkeit des Ökosystems, Ecosystem Services zu generieren, beeinflussen (PAVAO-ZUCKERMAN 2012: 278). Außerdem können die erzeugten Services stark von Stadt zu Stadt unterschiedlich sein (LEHMANN 2006: 129). Im urbanen Kontext sind die Ecosystem Service-Kategorien wie Nahrungsmittelproduktion oder Erosionskontrolle möglicherweise weniger wichtig, als Cultural Services (LA ROSA et al. 2015: o.S.). Die Lebensqualität innerhalb der Stadt basiert maßgeblich auf ihnen (LANGEMEYER et al. 2015:179; ANDERSSON et al. 2015: 165), beispielsweise durch die Erholungsfunktion, die durch urbane Grünflächen bereitgestellt wird (AITKENHEAD-PETERSON et al. 2010: 378). Im städtischen Umfeld mit wenig Raum für Erholung wird dem Aspekt der Erholung und den kulturellen Ecosystem Services möglicherweise der höchste Wert eingeräumt (GÓMEZ-BAGGETHUN 2013: 184; BOLUND & HUNHAMMAR 1999: 298), jedoch muss festgehalten werden, dass Cultural Services die „persönlichsten“ und subjektivsten Services sind (vgl. z.B. CALZOLARI et al. 2016: 193; LANGEMEYER et al. 2015: 178) und ihre Bewertung so äußerst schwierig ist.

Böden im urbanen Raum stellen aber auch geoökologische Funktionen wie Umwandlung und Speicherung von Nähr- & Schadstoffen bereit. Diese Funktionen können jedoch limitiert und durch Übernutzung gefährdet sein (NORRA & STÜBEN 2003: 230). So steigt der Verbrauch von natürlichem Kapital und folglich sinkt die Bereitstellung von Ecosystem Services stetig (GÓMEZ-BAGGETHUN 2013: 236).

Aktuell in der Diskussion, und mit immer größer werdendem Interesse, sind sogenannte „Ecosystem Disservices“ – die Negativfunktionen von Ökosystemen auf das menschliche Wohlergehen (vgl.

z.B. GÓMEZ-Baggethun 2013; GRUNEWALD & BASTIAN 2013). Verschiedene Autoren haben sich bezüglich eines Managements, oder einer Instandsetzung und –haltung von Ecosystem Services (im Fokus sollte hier besser das natürliche Kapital stehen) mit unterschiedlichen Fragestellungen auseinandergesetzt und kommen zu dem Schluss, dass es von essenzieller Wichtigkeit für das urbane Umfeld ist, Ecosystem Services zu verwalten und zu optimieren (für ausführliche Studien siehe z.B. PAVAO-ZUCKERMAN 2008; SETÄLÄ et al. 2014).

Es ist festzuhalten, dass Böden in der Stadt einen erheblichen Beitrag in der Bereitstellung von Ecosystem Services und so zur menschlichen Lebensqualität im urbanen Raum beitragen.

6 Kartierungen in Hildesheim

6.1 Der Stadtstrukturtypenansatz

Der Ansatz der Stadtstrukturtypen stellt seit vielen Jahren ein vielversprechendes Instrument dar, um urbane Räume aus ökosystemarer Sicht zu differenzieren und zu charakterisieren (BREUSTE, HAASE, PAULEIT & SAUERWEIN 2016: 38, LAUF et al. 2014: 74; SAUERWEIN 2006: 7). Stadtstrukturtypen bezeichnen dabei Raumeinheiten urbaner Landschaften mit generell vergleichbaren Umweltbedingungen. Ihre Bestimmung legt die aktuelle Flächennutzung zugrunde, die durch weitere Merkmale weiter differenziert wird. Flächen gleicher Merkmalsausprägung werden einem Raumtyp, dem Stadtstrukturtyp zugeordnet. Stadtstrukturtypen sind somit Raumtypen urbaner Landschaften, die durch Flächen physiognomisch intern einheitlicher und untereinander unterschiedlicher Raummerkmale repräsentiert werden. Jeder Strukturtyp ist durch ein spezifisches Anordnungsmuster und charakteristische Dichte der Bebauung, durch den Anteil der versiegelten Freiflächen und eine spezifische Vegetationsstruktur gekennzeichnet. Die Repräsentation der Stadtstrukturtypen ist untereinander gleichwertig und homogen in der Ausprägung der internen Strukturmerkmale.

Tab. 7: Differenzierung von Stadtstrukturtypen (in Anlehnung an SAUERWEIN 2006: 9).

Wohnflächen und Flächen mit gemischter Nutzung	**Freizeit- und Erholungsflächen**	**Industrie- und Gewerbeflächen**
• Kerngebiete	• Park- und Grünanlagen	• Gering versiegelt
• Offene Blockbebauung	• Kleingartenanlagen	• Stark versiegelt
• Geschlossene Blockbebauung	• Friedhöfe	
• Offene Blockrandbebauung	• Sport-/Freizeitanlagen	**Sonderflächen**
• Geschlossene Blockrandbebauung		• Öffentliche Einrichtungen
• Zeilenbebauung	**Landwirtschaftsflächen**	• Einkaufszentren
• Großwohnsiedlung	**Wald**	• Technische Ver- und Entsorgungsanlagen
• Ein- und Zweifamilienhausbebauung	**Gewässer**	
• Villen	**Brachflächen**	
• Ehemalige Dorfkerne	**Aufschüttungs- und Entsorgungsflächen**	**Hauptverkehrsstraßen Eisenbahnanlagen**
***** Hauptstrukturtypen sind fett dargestellt		

In SAUERWEIN (2006) und SAUERWEIN (2011) ist beschrieben, dass sich der Stadtstrukturtypenansatz generell eignet, um urbane Bodenlandschaften auszuweisen. Basierend auf der in Tab. 7 dargestellten Stadtstrukturtypengliederung wurde für das Stadtgebiet Hildesheim eine entsprechende Kartierung durchgeführt (Abb. 6).

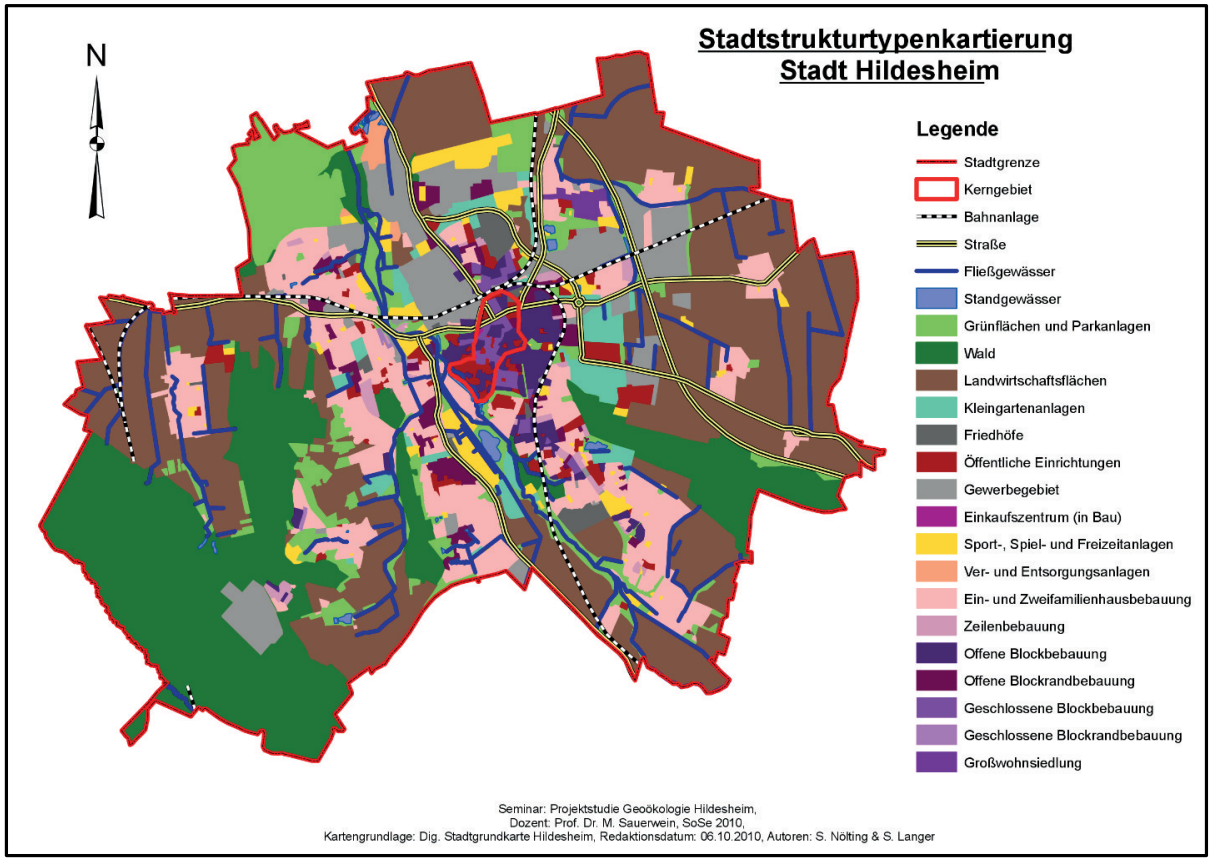

Abb. 6: Stadtstrukturtypenkartierung Hildesheim, Entwurf.

6.2 Bodenkartierungen

Für das Stadtgebiet von Hildesheim liegt keine flächendeckende Bodenkartierung vor. Lediglich einzelne Profilaufnahmen sind vorhanden. Dies gilt weltweit für nahezu alle urbanen Landschaften. Informationen und das Wissen über Stadtböden sind bislang immer noch nicht sehr umfangreich. International gibt es in der Stadtbodenforschung noch kein übergreifend akzeptiertes Modell einer urbanen Bodentypenklassifizierung.

6.2.1 Entwicklung einer digitalen Konzeptbodenkarte

Die Erstellung einer digitalen Konzeptbodenkarte durch die Verschneidung unterschiedlicher Informationsebenen ist ein elementarer Bestandteil einer Kartierung in urban, industriell oder gewerblich geprägten Gebieten (AK STADTBÖDEN 1996). Bei der Erfassung und Ableitung der Bodeneigenschaften bietet eine Konzeptbodenkarte eine wichtige Hilfestellung, mit welcher der Kartieraufwand deutlich reduziert werden kann.

Erstes Ziel ist die Erstellung einer digitalen Datengrundlage für die Stadt Hildesheim, mit der in weiteren Schritten eine Konzeptbodenkarte erarbeitet werden kann (STADTMANN 2011). Hierzu müssen vorhandene bodenkundliche oder bodenkundlich interpretierbare Daten recherchiert werden. Außerdem soll eine begründete Auswahl, sowie eine Vorstrukturierung durch die Einordnung der Daten in Klassen, durchgeführt werden, um eine spätere Weiterverarbeitung vorzubereiten. Die Ergebnisse dieser Schritte werden als Synthesekarte dargestellt. Der Zielmaßstab der Konzeptbodenkarte ist 1:10.000.

Folgende Daten gehen in die Entwicklung der Konzeptbodenkarte ein (Details bei STADTMANN 2011): Bodenschätzung, Forstliche Standortskartierung, BÜK 50, Biotoptypenkartierung, Geotopkartierung, Landnutzung und Versiegelungsgrad nach ATKIS, Historische Landnutzungsdaten, Altlasten und Altstandorte (STADT HILDESHEIM 2010), Daten des Bodenplanungsgebietes. Die ausgewählten Daten

sind in einem ersten Entwurf einer Konzeptbodenkarte (Abb. 7) dargestellt. Durch die farbliche Darstellung ist deutlich zu erkennen, dass im Stadtgebiet Hildesheims große Bereiche durch die Bodenschätzung erfasst sind. Die anthropogene Überprägung wird durch den dargestellten Versiegelungsgrad und die Altstandorte bzw. die Altablagerungen hervorgehoben. Flächendeckend liegen die Informationen der BÜK50, der historischen Landnutzung und der Biotoptypenkartierung vor.

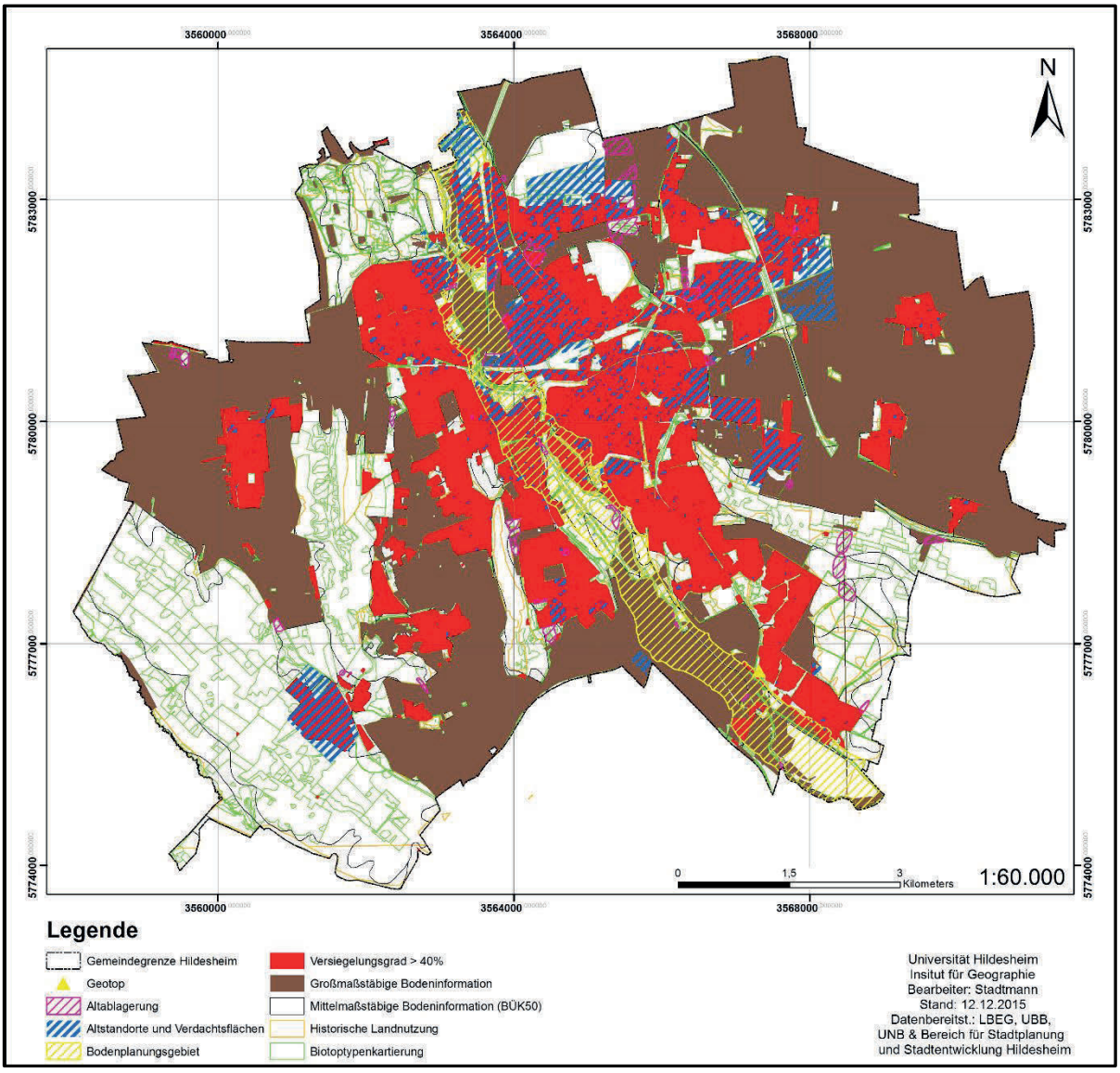

Abb. 7: Entwurf einer Konzeptkarte zur Bodenverbreitung in der Stadt Hildesheim.

Mittels zukünftig aufzunehmender Profilinformationen soll der Entwurf in eine mit Daten unterlegte Konzeptbodenkarte weiter entwickelt werden, welche wiederum als Grundlage für Bodenfunktionsbewertungen dient (STADTMANN et al. 2013: 148).

6.2.2 Pilotstudie

Im Rahmen einer Pilotstudie wurden von DIECK (2015) in ausgewählten Stadtstrukturtypen zahlreiche Bodenprofile aufgenommen, Bohrstocksondierungen vorgenommen sowie Laboruntersuchungen durchgeführt, um eine punktuelle Bestandsaufnahme urbaner Böden vorzunehmen und um Parameter aufzunehmen, die zur Beurteilung von möglichen Ecosystem Services relevant sind. In den drei Stadtstrukturtypen Park- und Grünflächen, Zeilenbebauung, Sport- und freizeitanlagen wurden jeweils im Stadtgebiet verteilt 2 – 3 Teilareale untersucht (Abb. 8).

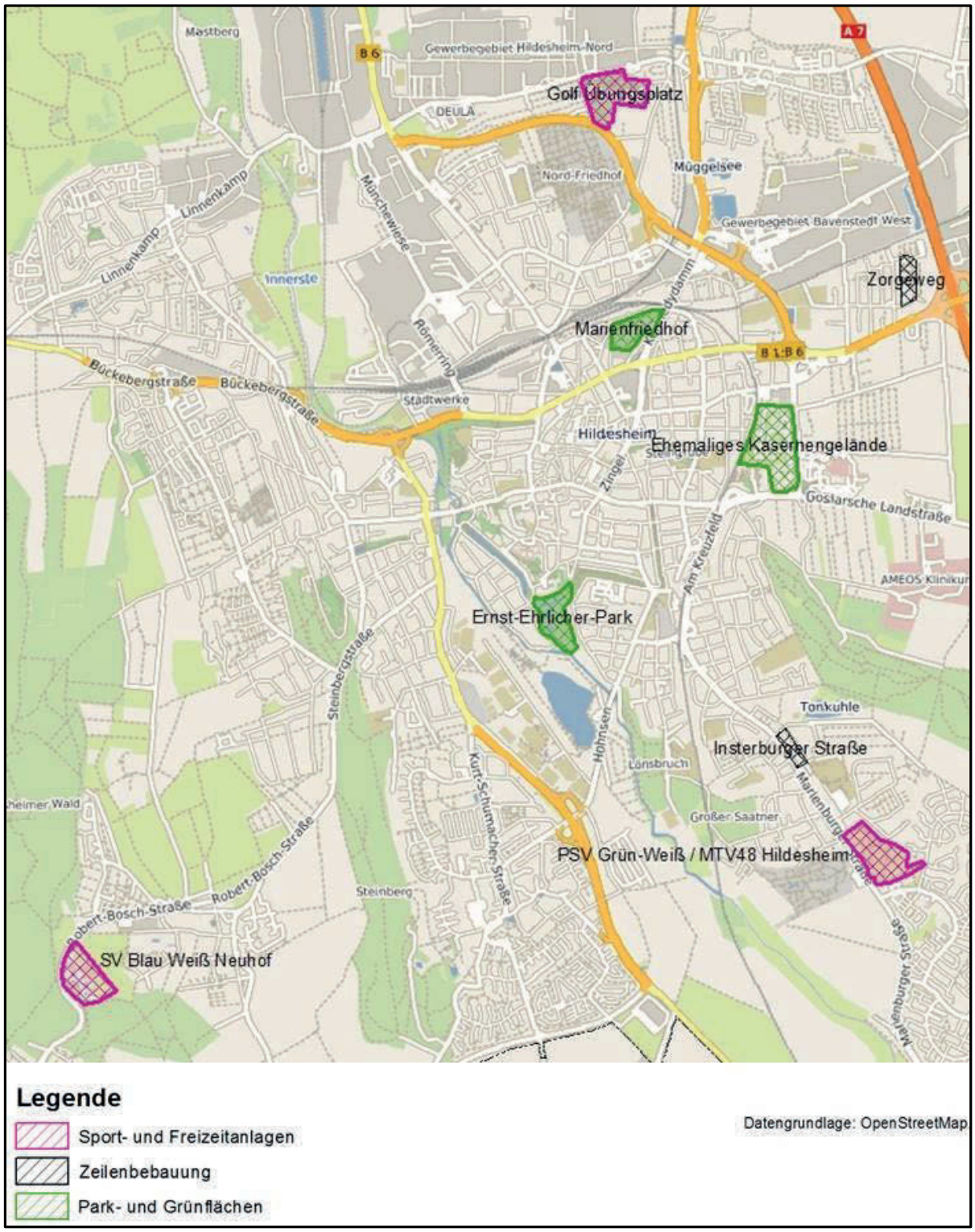

Abb. 8: Lage der Teilareale im Stadtgebiet Hildesheim.

Die Ergebnisse der Feld- und Laborbefunde werden hier nicht dargestellt (dazu siehe DIECK 2015), sondern die aus den Befunden abgeleiteten Erkenntnisse bzgl. der Ecosystem Services (Tab. 8).

Tab. 8: Bereitstellung von Ecosystem Service innerhalb der untersuchten Stadtstrukturtypen.

	Park- und Grünanlagen			**Sport- und Freizeitanlagen**			**Zeilenbebauung**	
	Marien-friedhof	Ernst-Ehr-licher-Park	Kaser-nenge-biet	Blau-Weiß Neuhof	Grün-Weiß/ MTV	Golf-Übungs-platz	Inster-burger Str.	Zorge-weg
Provisioning Services								
Bereitstellung von Nährstoffen	-	-	(+)	(+)	(+)	-	-	-
Bereitstellung von physikal. Infrastruktur; Habitatfunktion	+	+	(+)	(+)	(-)	(+)	+	+
Bereitstellung von Rohstoffen	-	-	(+)	(+)	(+)	-	-	-
Bereitstellung von sauberem Trinkwasser	-	?	-	?	?	?	?	?
Regulating Services								
Verhinderung von Flut/Hochwasser; Abflussregulation	+	(+)	o	+	(+)	-	(+)	(+)
Filterung von Nähr-/ Schadstoffen; Abbau von Abfall und Entgiftung	(+)	+	(+)	+	+	-	(+)	(+)
Biologische Kontrolle von Plagen und Krankheiten	?	?	?	?	?	?	?	?
Kohlenstoffspeicherung und Regulierung von Treibhausgasen	+	+	(+)	+	(+)	-	+	(+)
Reduktion von Lärm	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	-	(-)	(+)
Bestäubung und Samenausbreitung	(+)	+	+	+	(+)	+	(-)	(+)
Klimaregulation	+	+	(+)	+	(+)	(-)	(+)	(+)
Erosionsschutz	+	(+)	(-)	(-)	(-)	-	(-)	(-)
Cultural Services								
Kulturelle Identifikation; Information	+	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-
Quelle ästhetischer Erfahrungen; Ästhetische Werte	+	+	-	-	-	-	(+)	(+)
Spirituelle Bereicherung; Geistige Werte, Historische Information	+	(-)	(+)	-	-	-	-	-
Erholung; Ökotourismus	+	+	+	(+)	(+)	-	+	+
Platz, um die Toten zu begraben	(+)	-	-	-	-	-	-	-
Wissen; Erfahrungsgewinn; Erfahrungsentwicklung	+	(+)	(+)	(+)	(+)	-	-	-

***+** Service wird generiert; **(+)** Service wird nicht in vollem Umfang generiert; **o** zwischen (+) und (-);*
***(-)** Service nur eingeschränkt generiert; **-** Service nicht vorhanden; **?** keine Klärung möglich*

Für den **Stadtstrukturtyp Park- und Grünanlagen** kann festgehalten werden, dass die Bereitstellung von Ecosystem Services prinzipiell als gut zu bewerten ist. Es werden hier durch relativ geringe/geringfügige anthropogene Einflüsse (ausgenommen werden muss hier sicherlich das Kasernengebiet) nahezu sämtliche Ecosystem Services bereitgestellt, die in der Bewertung beachtet wurden. Varianzen ergeben sich zwischen den drei untersuchten Gebieten, sowie in der Bewertung von „ausgeführt“ und

„teilweise/eingeschränkt ausgeführt". Dies ist dem Umstand geschuldet, dass sich die Flächen in ihrer Zusammensetzung voneinander unterscheiden (vgl. WURSTER & ARTMANN 2014: 454). So ist der Marienfriedhof mit seinem Beitrag zur Bereitstellung von Ecosystem Services innerhalb dieses Stadtstrukturtyps am höchsten zu bewerten. Dies wird gestützt durch seinen kulturellen Wert, aber auch durch vielfache Bereitstellungs- und Regulationsleistungen. Da das natürliche Kapital hier als weitgehend intakt und unverändert angesehen werden kann, ist die Leistungsfähigkeit Ecosystem Services bereitzustellen, sehr hoch. Etwas geringer muss der Ernst-Ehrlicher-Park bewertet werden, da sich innerhalb der (süd)westlichen Randbereiche doch deutliche Unterschiede zur Gesamtfläche ergeben. Hier stellen hohe Wassersättigung und Tongehalte die Einschränkungen des natürlichen Kapitals dar, was dazu führt, dass einige Ecosystem Services nicht voll ausgeführt werden können. Das ehemalige Kasernengebiet ist in seiner Funktionsfähigkeit durch die anthropogene Überprägung deutlich eingeschränkter, als die beiden anderen Flächen. Da es sich hier im Sinne von DOMINATI et al. (2010) eher um aufgebautes, denn natürliches Kapital handelt, muss hier die Bewertung mit Vorsicht vorgenommen werden. Zwar werden viele der gleichen Services generiert, dennoch bleibt offen, in welcher Intensität diese, verglichen mit den überwiegend als natürlich zu bewertenden anderen Flächen, wirksam sind. Durch diese deutliche Veränderung des Ökosystems (des natürlichen Kapitals) kann davon ausgegangen werden, dass hier eine Abwertung/Verschlechterung der Services stattfindet (DOMINATI 2013: 136).

Für den **Stadtstrukturtyp Sport- und Freizeitanlagen** kann festgehalten werden, dass die Bereitstellung von Ecosystem Services überwiegend als gut bewertet werden kann, jedoch in einigen Bereichen Einschränkungen aufweist. Zwar sind auch hier deutliche Unterschiede der einzelnen Untersuchungsgebiete zu verzeichnen, diese allerdings auch aufgrund der natürlichen Lage im Stadtgebiet. Am besten zu bewerten ist innerhalb dieses Stadtstrukturtyps die Sportanlage des Blau-Weiß Neuhof, nicht zuletzt aufgrund ihrer Lage am Waldrand und nicht im engeren (und somit „stärker" urbanisierten) Stadtgebiet. Somit sind die Flächen (abgesehen von den für Sportzwecke bebauten Flächen) hier als natürlich anzusehen und generieren auch innerhalb des urbanen Umfelds die gleichen Ecosystem Services, wie es natürliche Ökosysteme (außerhalb der Stadt) tun können, da die Anlage des natürlichen Kapitals als weitgehend unverändert bezeichnet werden kann. Etwas eingeschränkter muss die Sportanlage des Grün-Weiß/ MTV-Hildesheim bewertet werden, da der menschliche Einfluss in diesem Gebiet stellenweise zu einer deutlichen Beeinträchtigung des natürlichen Kapitals des Bodens und somit der Ecosystem Services führt. Hier sind beispielsweise oberflächlicher Auftrag von semipermeablen Materialien (Tartanbahn, Tennisplatzasche) oder das Abtragen von („prä-urbanen") Oberböden und späteres Aufbringen von sandigem Material zum Reliefausgleich anzuführen. Dadurch verändern sich die Eigenschaften des natürlichen Kapitals dieses Ökosystems, es können viele Ecosystem Services zwar noch bereitgestellt werden, doch muss mit einer deutlichen Minderung der Leistung gerechnet werden. Eine deutlich schlechtere Leistung muss für den Golf-Übungsplatz verzeichnet werden. Zwar führen die Umbaumaßnahmen zur Verbesserung einiger Services, da das natürliche Kapital teilweise durch aufgebautes Kapital verändert und ersetzt wird, dafür gehen andere verloren (sog. Trade-off Konflikte; vgl. z.B. SETÄLÄ et al. 2014). Insgesamt ist hier allerdings die Funktionsfähigkeit zur Bereitstellung von Ecosystem Services generell eingeschränkt(er), da starke anthropogene Veränderungen (Abtrag, Aufbringen und Durchmischung von Substraten, Einbringen von „Kulturrelikten" und schädlichen Substanzen) das natürliche Kapital des Bodens innerhalb dieses Gebiets kennzeichnen. Viele der bereitstellenden und regulierenden Leistungen können nur noch in geringem Umfang, oder stark eingeschränkt generiert werden.

Für den **Stadtstrukturtyp Zeilenbebauung** kann festgehalten werden, dass die Bereitstellung von Ecosystem Services deutlich eingeschränkt ist. Durch bauliche Maßnahmen und der damit einhergehenden Veränderung des Ökosystems (des natürlichen Kapitals des Bodens) können viele Ecosystem Services nicht mehr, oder nur noch eingeschränkt generiert werden. Die Speziesarmut, relativ geringe Anteile organischer Substanz und anthropogen eingebrachte Substrate bewirken, dass beispielsweise Kohlenstoffspeicherung und Filterung von Nähr- und Schadstoffen nur noch in begrenztem Umfang

ausgeübt werden (auch wenn HAASE 2013 für Wohnbereiche die höchsten Werte an Kohlenstoffspeicherung angibt). Da die Gebiete innerhalb dieses Stadtstrukturtyps wohl primär als Wohn- und (in geringerem Umfang auch) als Erholungsorte dienen sollen, können beide Gebiete als sehr ähnlich in der Bereitstellung von Ecosystem Services beschrieben werden, da auch die Pflege und das Management sehr ähnlich sein dürften, so wie es für Wohngebiete mit vielen Parteien üblich ist. Minimal besser kann in diesem Vergleich der Zorgeweg bewertet werden, da hier noch eine geringfügig höhere Speziesdiversität in den Randbereich herrscht, als in der Insterburger Straße. Diese Tatsache ändert allerdings nicht, dass für diesen Stadtstrukturtyp die Bereitstellung von Ecosystem Services als mäßig angesehen wird.

7 Fazit und Ausblick

7.1 Ecosystem Services von Böden in Stadtstrukturtypen

Die Diskussion zeigt, dass die Böden einzelner Stadtstrukturtypen unterschiedliche und unterschiedlich viele Ecosystem Services generieren (können). Somit kann verglichen werden, welcher Stadtstrukturtyp innerhalb des urbanen Raumes die meisten bodenbezogenen Ecosystem Services bereitstellt und somit als „produktivstes“ oder „wertvollstes“ Gebiet bewertet werden kann.

Qualitativ sind mit der Bereitstellung von Ecosystem Services die **Park- und Grünanlagen** an erster Stelle zu nennen. Es ist ersichtlich, dass hier anthropogener Einfluss das natürliche Kapital des Bodens in geringem Umfang verändert hat (und durch Pflegemaßnahmen aktuell auch noch beeinflusst), was diesen Stadtstrukturtypen zu einem relativ natürlichen Ökosystem und „Lieferanten“ für Ecosystem Services macht. Die weitgehende Intaktheit des natürlichen Kapitals des Bodens führt dazu, dass sehr viele der identifizierten Ecosystem Services bereitgestellt werden können. Einschränkend wirken (und das allerdings in jedem Gebiet und jedem Stadtstrukturtypen) die natürlichen Gegebenheiten – die Ausstattung des natürlichen Kapitals – auf die Bereitstellung von Ecosystem Services. Studien zeigen, dass mehr „Grün“ innerhalb eines Gebietes höhere strukturelle Diversität zur Folge hat und so die Bereitstellung von Ecosystem Services steigen kann (WURSTER & ARTMANN 2014: 455). Im Vergleich der Stadtstrukturtypen muss das Kasernengebiet hier mit Vorsicht betrachtet werden und steht in seiner Funktionalität und Ausprägung vielmehr zwischen diesem und dem folgenden Stadtstrukturtypen, als dass es sich als „echte“ Park- und Grünanlage einordnen ließe. Die **Sport- und Freizeitanlagen** generieren ähnlich viele und davon vielfach die gleichen Ecosystem Services wie die Park- und Grünanlagen, jedoch ist durch den menschlichen Einfluss, der in größerem Maße auf das natürliche Kapital wirkt(e), die Bereitstellung einiger Ecosystem Services im Vergleich als eher eingeschränkt/ nicht voll ausgeführt zu bewerten. Hierzu zählen sowohl deutlich größere Bereiche, die (teil)versiegelt und somit aus dem natürlichen Kreislauf herausgenommen sind (CALZOLARI et al. 2016: 195), als auch stärkere Veränderungen innerhalb des Profilaufbaus und damit des natürlichen Kapitals, beispielsweise durch das Einbringen von neuen Substraten. Diese Veränderungen des natürlichen Kapitals führen dazu, dass Ecosystem Services nur eingeschränkt, teilweise auch nicht mehr bereitgestellt werden können. Als „schlechtester“ Stadtstrukturtyp ist nach der Pilotstudie die **Zeilenbebauung** zu nennen. Es wird deutlich, dass der anthropogene Einfluss eine erheblich negative Auswirkung auf die Bereitstellung von Ecosystem Services hat, da natürliches Kapital nicht nur teilweise stark verändert, sondern an manchen Stellen auch verbraucht/ deaktiviert wird. Beispiele dafür sind Versiegelung und Abtrag von „natürlichen“ Horizonten, die durch späteren Auftrag von reliefausgleichenden Substraten ersetzt werden oder die deutlich geringeren Gehalte organischer Substanz. Diese Einflüsse auf das natürliche Kapital des Bodens (nach DOMINATI 2013 könnte hier von Degradation gesprochen werden; vgl. auch Abb. 4) bewirken folglich eine Minderung und/oder Annullierung der bereitzustellenden Ecosystem Services.

Als Schlussfolgerungen können aufgrund der oben diskutierten Ergebnisse für die Stadtstrukturtypen zusammenfassend festgehalten werden:

- Urbane Böden leisten einen erheblichen Beitrag zur Bereitstellung von Ecosystem Services in der Stadt.
- Die Bereitstellung von Ecosystem Services kann, abhängig von der Beeinträchtigung des natürlichen Kapitals des Bodens (der anthropogenen Überprägung), eingeschränkt, aber immer noch möglich sein.
- Relativ natürlich entwickelte Stadtstrukturtypen wie z.B. Park- und Grünanlagen stellen ausgehend von den Ergebnissen der Pilotstudie den für die Bereitstellung von Ecosystem Services „produktivsten" Typen, gefolgt von Sport- und Freizeitanlagen dar, da das natürliche Kapital des Bodens in weiten Teilen wenig bzw. kaum verändert ist,
- Gering versiegelte Wohnbau-Stadtstrukturtypen wie z.B. die Zeilenbebauung zeigen aufgrund der anthropogenen Beeinflussung deutliche Veränderungen des natürlichen Kapitals und sind daher in der Bereitstellung von Ecosystem Services erheblich eingeschränkter.
- Mit zunehmender anthropogener Beeinflussung/Überprägung (einer möglichen Degradation) des natürlichen Kapitals des Bodens nimmt die Leistungsfähigkeit des Ökosystems (Stadtstrukturtyps), Ecosystem Services zu generieren, ab.
- Bereits geringfügige anthropogene Einflüsse können auf das natürliche Kapital des Bodens eine erhebliche negative Richtungsänderung in der Bereitstellung von Ecosystem Services bewirken kann (beispielsweise durch Verdichtung).
- Gleiches gilt allerdings auch für die positive Richtungsänderung (beispielsweise durch Verbesserung des Nährstoffangebots und daraus resultierende „Aufwertung" einiger Ecosystem Services).
- Die Bereitstellung einiger Ecosystem Services kann unter Umständen den Verlust oder zumindest eine Einschränkung anderer Services zur Folge haben. Hierfür verantwortlich können sowohl die Anlage des natürlichen Kapitals, aber auch menschlicher Einfluss und folgende Veränderung des natürlichen in „aufgebautes" Kapital sein.

7.2 Ausblick

Aufbauend auf der Pilotstudie sollen weitere Bodenuntersuchungen in unterschiedlichen Stadtstrukturtypen durchgeführt werden. Zum einen kann damit die Entwicklung der Konzeptbodenkarte vorangetrieben werden, zum anderen kann gleichsam eine qualitative und quantitative Basis für weitere Aussagen zur Bereitstellung von bodenbezogenen Ecosystem Services bilanziert werden. Zum dritten lassen sich daraus flächenbezogene Aussagen zum inner-urbanen Bodenschutz ableiten. Bei genügend Aufnahmen lassen sich schließlich über das Untersuchungsgebiet Hildesheim hinaus zu verallgemeinernde, stadtstrukturtypendifferenzierte Aussagen zur Bereitstellung bodenbezogener Ecosystem Services ableiten.

Für Provisioning und Regulating Services wurden aus Tab. 3 und Tab. 4 standardisiert messbare Kenngrößen abgeleitet. Für Cultural Services wurde aufgezeigt, welche Kenngrößen diese beschreiben können. Deren Messbarkeit ist weiter zu diskutieren.

Literatur

AD-HOC-AG-BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.

AK STADTBÖDEN (ARBEITSKREIS STADTBÖDEN DER DT. BODENK. GES.) (1996): Urbaner Bodenschutz. Berlin.

AMOSSÉ, J., LE BAYON, R.-C. & J.-M. GOBAT (2015): Are urban soils similar to natural soils of river valleys? – In: Journal of Soils and Sediments 15(8): 1716-1724.

AITKENHEAD-PETERSON, J.A., STEELE, M.K. & A. VOLDER (2010): Services in Natural and Human Dominated Ecosystems. – In: AITKENHEAD-PETERSON, J. & A. VOLDER [Eds.] (2010): Agronomy Monograph 55. Urban Ecosystem Ecology. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. S. 373-390.

ANDERSSON, E., TENGÖ, M., MCPHEARSON, T. & P. KREMER (2015): Cultural Ecosystem Services as a gateway for improving urban sustainability. – In: Ecosystem Services 16: 165-168.

BASTIAN, O., GRUNEWALD, K. & R.-U. SYRBE (2013): Klassifikation von ÖSD. – In: GRUNEWALD, K., & O. BASTIAN [Hrsg.] (2013): Ökosystemdienstleistungen - Konzept, Methoden und Fallbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. S. 48-55.

BASTIAN, O., HAASE, D. & K. GRUNEWALD (2012): Ecosystem properties, potentials and services – The EPPS conceptual framework and an urban application example. - In: Ecological Indicators 21: 7-16.

BLUME, H.-P., BRÜMMER, G.W., HORN, R., KANDELER, E., KÖGEL-KNABER, I., KRETZSCHMAR, R., STAHR, K., WILKE, B.-M., THIELE-BRUHN, S. & G. WELP [Hrsg.] (2010): Scheffer/Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

BLUME, H.-P. & J. LAMP (2004): Böden als Landschaftssegmente. – In: BLUME, H.-P. [Hrsg.] (2004): Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und -belastung. Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Landsberg am Lech: ecomed. S. 59-69.

BOLUND, P. & S. HUNHAMMAR (1999): Ecosystem services in urban areas. – In: Ecological Economics 29: 293-301.

BOYD, J. & S. BANZHAF (2006): What are Ecosystem Services? The Need for Standardized Environmental Accounting Units. Washington: Resources for the Future.

BREUSTE, J., HAASE, D., PAULEIT, S. & M. SAUERWEIN (2016): Stadtökosysteme: Funktion, Management und Entwicklung. Heidelberg: Springer.

CALZOLARI, C., UNGARO, F., FILIPPI, N., GUERMANDI, M., MALUCELLI, F., MARCHI, N., STAFFILANI, F. & P. TAROCCO (2016): A methodological framework to assess the multiple contributions of soils to ecosystem services delivery at regional scale. – In: Geoderma 261: 190-203.

COSTANZA, R., DE GROOT, R., SUTTON, P., VAN DER PLOEG, S., ANDERSON, S.J., KUBISZEWSKI, I., FARBER, S. & R.K. TURNER (2014): Changes in the global value of ecosystem services. – In: Global Environmental Change 26: 152-158.

COSTANZA, R., KUBISZEWSKI, I., ERVIN, D., BLUFFSTONE, R., BOYD, J., BROWN, D., CHANG, H., DUJON, V., GRANEK, E., POLASKY, S., SHANDAS, V. & A. YEAKLEY (2011): Valuing ecological systems and services. – In: F1000Reports Biology. <http://f1000.com/reports/b/3/14> (Stand: 2011) (Zugriff: 06/2015).

COSTANZA, R., DÁRGE, R., DE GROOT, R., FARBER, S., GRASSO, M., HANNON, B., LIMBURG, K., NAEEM, S., O´NEILL, R.V., PARUELO, J., RASHIN, R.G., SUTTON, P. & M. VAN DEN BELT (1997): The value of the world´s ecosystem services and natural capital. – In: Nature 387(15): 253-260.

COSTANZA (2008): Ecosystem Services: Multiple classification systems are needed. – In: Biological Conservation 141: 350-352.

DE GROOT, R.S., WILSON, M.A. & R.M.J. BOUMANS (2002): A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. – In: Ecological Economics 41: 393-408.

DELGADO, L.E. & V.H. MARIN (2015): Ecosystem services: Where on earth? – In: Ecosystem Services 14: 24-26.

DIECK, J.-P. (2015): Urbane Böden innerstädtischer Freiflächen und ihre Bedeutung für Ecosystem Services am Beispiel Hildesheim. Bachelorarbeit, Univ. Hildesheim (unveröff.).

DOMINATI, E.J. (2013): Natural Capital and Ecosystem Services of Soils. - In: DYMOND, J.R. [Ed.] (2013): Ecosystem Services in New Zeeland – conditions and trends. Lincoln: Manaaki Whenua Press.

DOMINATI, E., ROBINSON, D.A., MARCHANT, S.C., BRISTOW, K.L. & A.D. MACKAY (2014): Natural Capital, Ecological Infrastructure, and Ecosystem Services in Agroecosystems. – In: VAN ALFEN, N.K. [Ed.] (2014): Encyclopedia of Agriculture and Food Systems. New York, u.a.: Academic Press.

DOMINATI, E., PATTERSON, M., MACKAY, A. (2010): A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. – In: Ecological Economics 69: 1858-1868.

ELMQVIST, T., SETÄLÄ, H., HANDEL, S.N., VAN DER PLOEG, S., ARONSON, J., BLIGNAUT, J.N., GÓMEZ-BAGGETHUN, E., NOWAK, D.J., KRONENBERG, J. & R. DE GROOT (2015): Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. – In: Current Opinion in Environmental Sustainability 14: 101-108.

EFFLAND, W.R. & R.V. POUYAT (1997): The genesis, classification, and mapping of soils in urban areas. - In: Urban Ecosystems 1: 217-228.

FISHER, B., TURNER, R.K. & P. MORLING (2009): Defining and Classifying Ecosystem Services for Decision Makting. – In: Ecological Economics 68(3): 643-653

FISHER, B. & R.K. TURNER (2008): Ecosystem Services: Classification for valuation. – In: Biological Conservation 141(5): 1167-1169

FRIELINGHAUS, M., BLUME, H.-P., HÖKE, S., LEHMANN, A. & J. SCHNEIDER (2010): Boden des Jahres 2010 sind die Stadtböden. - In: Berliner Geographische Arbeiten 117: 6-8.

GHALEY, B.B., PORTER, J.R. & H.S. SANDHU (2014): Soil-based ecosystem services: a synthesis of nutrient cycling and carbon sequestration assessment methods. – In: International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management 10(3): 177-186.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E., GREN, A., BARTON, D.N., LANGEMEYER, J., MCPHEARSON, T., O´FARRELL, P., ANDERSSON, E., HAMSTEAD, Z. & P. KREMER (2013): Urban Ecosystem Services. – In: ELMQVIST, T., FRAGKIAS, M., GOONESS, J., GÜNERALP, B., MARCOTULLIO, P.J., MCDONALD R.I., PARNELL, S., SCHEWENIUS, M., SENDSTAD, M., SETO, K.C. & C. WILKINSON [Eds.] (2013): Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities. A Global Assessment. Heidelberg, New York, London: Springer Verlag. S. 175-250.

GREINERT, A. (2015): The heterogeneity of urban soils in the light of their properties. – In: Journal of Soils and Sediments 15(8): 1725-1737.

GRUNEWALD, K. & O. BASTIAN (2013): Ökosystemdienstleistungen (ÖSD) – mehr als ein Modewort? – In: GRUNEWALD, K., & O. BASTIAN [Hrsg.] (2013): Ökosystemdienstleistungen - Konzept, Methoden und Fallbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. S. 1-11

HAASE, D. (2013): Urbane Ökosystemdienstleistungen – das Beispiel Leipzig. – In: Grunewald, K., & O. Bastian [Hrsg.] (2013): Ökosystemdienstleistungen - Konzept, Methoden und Fallbeispiele. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag. S. 232-239.

HAASE, D., LARONDELLE, N., ANDERSSON, E., ARTMANN, M., BORGSTRÖM, S., BREUSTE, J., GOMEZ-BAGGETHUN, E., GREN, A., HAMSTEAD, Z., HANSEN, R., KABISCH, N., KREMER, P., LANGEMEYER, J., RALL, E.L., MCPHEARSON, T., PAULEIT, S., QURESHI, S., SCHWARZ, N., VOIGT, A., WURSTER, D. & T. ELMQVIST (2014): A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: Concepts, Models, and Implementation. - In: AMBIO 43: 413-433.

HAINES-YOUNG, R. & M. POTSCHIN (2013): Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December 2012. Nottingham: University of Nottingham. <www.cices.eu> (Stand: 2013) (Zugriff: 06/2015).

HAINES-YOUNG, R. & M. POTSCHIN (2009): Methodologies for defining and assessing ecosystem services. Final Report. Nottingham: Joint Nature Conservation Committee.

HELMES, T. (2004): Urbane Böden. Genese, Eigenschaften und räumliche Verteilungsmuster – Eine Untersuchung im Stadtgebiet Saarbrücken. Diss. Universität des Saarlandes.

HEWITT, AL. DOMINATI, E., WEBB, T. & T. CUTHILL (2015): Soil natural capital quantification by the stock adequacy method. – In: Geoderma 241-242: 107-114.

HÖKE, S., ROLF, M., VON DRESSLER, H., FÜCK, F. & J. SCHNEIDER (2010): Kennwertermittlung für Böden mit technogenen Substraten zur Bewertung als Pflanzenstandort. – In: Die Bodenkultur 61(2): 35-45.

LANGEMEYER, J., BARÓ, F., ROEBELING, P. & E. GÓMEZ-BAGGETHUN (2015): Constrasting values of cultural ecosystem services in urban areas: The case of park Montjuic in Barcelona. – In: Ecosystem Services 12: 178-186.

LA ROSA, D., SPYRA, M. & L. INOSTROZA (2015): Indicators of Cultural Ecosystem Services for urban planning: A review. – In: Ecological Indicators IN PRESS.

LAUF, S., HAASE, D. & B. KLEINSCHMIT (2014): Linkages between ecosystem services provisioning, urban growth and shrinkage – A model approach assessing ecosystem service trade-offs. – In: Ecological Indicators 42: 73-94.

LEHMANN, A. (2006): Technosols and other proposals on urban soils for the WRB (World Reference Base for Soil Ressources). - In: International Agrophysics 20: 129-134.

LEHMANN, A. & K. STAHR (2007): Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils. - In: Journal of Soils and Sediments 7(4): 247-260.

LOFT, L. & A. LUX (2010): Ecosystem Services – Eine Einführung. Knowledge Flow Paper Nr. 6. Frankfurt a.M.: BiKF (Biodiversität und Klima Forschungszentrum).

LORENZ, K., PRESTON, C.M. & E. KANDELER (2006): Soil organic matter in urban soils: Estimation of elemental carbon by thermal oxidation and characterization of organic matter by solid-state ^{13}C nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy. – In: Geoderma 130: 312-323.

MEUSER, H. (1996): Ein Bestimmungsschlüssel für natürliche und technogene Substrate in Böden städtisch-industrieller Verdichtungsräume. Ztschr. Pflanzenern., 159, 305-312.

MEUSER, H. & H.-P. BLUME (2004): Anthropogene Böden. – In: Blume, H.-P. [Hrsg.] (2004): Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und -belastung. Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Landsberg am Lech: ecomed. S. 573-592.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA) (2005): Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. Washington DC: World Resources Institute.

MOREL, J.-L., CHENU, C. & K. LORENZ (2015): Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). – In: Journal of Soils and Sediments 15(8): 1659-1666.

MOREL, J.-L. & A.B. HEINRICH (2008): SUITMA–soils in urban, industrial, traffic, mining and military areas. An interdisciplinary working group of the ´International Union of Soil Science´(IUSS) dedicated to soils strongly modified by human activities. - In: Journal of Soils and Sediments 8(4): 206-207.

NORRA, S. & D. STÜBEN (2003): Global Soils: Germany. Urban Soils. - In: Journal of Soils and Sediments 3(4): 230-233.

OPEN STREET MAP (2015): WMS-Layer <http://ows.terrestris.de/osm/service?> (Stand: 2015) (Zugriff: 09/2015).

PAVAO-ZUCKERMAN, M.A. (2012): Urbanization, Soils, and Ecosystem Services. – In: Wall, D.H. [Ed.] (2012): Soil Ecology and Ecosystem Services. Oxford: Oxford University Press. S.270-281.

PAVAO-ZUCKERMAN, M.A. (2008): The Nature of Urban Soils and Their Role in Ecological Restoration in Cities. - In: Restoration Ecology 16(4): 642-649.

PICKETT, S.T.A., CADENASSO, M.L., GROVE, J.M., BOONE, C.G., GROFFMAN, P.M., IRWIN, E., KAUSHAL, S., MARSHALL, V., MCGRATH, B.P., NILON, C.H., POUYAT, R.V., SZLAVECZ, K., TROY, A. & P. WARREN (2011): Urban ecological systems: Scientific foundations and a decade of progress. – In: Journal of Environmental Management 92: 331-362.

POTSCHIN, M.B. & R.H. HAINES-YOUNG (2011): Ecosystem services: Exploring a geographical perspective. - In: Progress in Physical Geography 35(5): 575-594.

POUYAT, R.V., SZLAVECZ, K., YESILONIS, I.D., GROFFMAN, P.M. & K. SCHWARZ (2010): Chemical, Physical, and Biological Characteristics of Urban Soils. – In: AITKENHEAD-PETERSON, J. & A. VOLDER [Eds.] (2010): Agronomy Monograph 55. Urban Ecosystem Ecology. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America. S.: 119-152.

ROBINSON, D.A., HOCKLEY, N., DOMINATI, E., LEBRON, I., SCOW, K.M., REYNOLDS, B., EMMETT, B.A., KEITH, A.M., DE JONGE, L.W., SCHJONNING, P., MOLDRUP, P., JONES, S.B. & M. TULLER (2012): Natural Capital, Ecosystem Services, and Soil Change: Why Soil Science Must Embrace an Ecosystem Approach. – In: VadoseZoneJournal 11(1): 1-11.

ROBINSON, D.A., HOCKLEY, N., COOPER, D.M., EMMET, B.A., KEITH, A.M., LEBRON, I., REYNOLDS, B., TIPPING, E., TYE, A.M., WATTS, C.W., WHALLEY, W.R., BLACK, H.I.J., WARREN, G.P. & J.S. ROBINSON (2013a): Natural capital and ecosystem services, developing an appropriate soils framework as a basis for valuation. – In: Soil Biology and Biochemistry 57: 1023-1033.

ROBINSON, D.A., JACKSON, B.M., CLOTHIER, B.E., DOMINATI, E., MARCHANT, S.C., COOPER, D.M., BRISTOW, K.L. (2013b): Advances in Soil Ecosystem Services: Concepts, Models, and Applications for Earth System Life Support. – In: VadoseZoneJournal 12(4): 1-13.

ROBINSON, D.A., LEBRON, I., REYNOLDS, B. & HOCKLEY, N. HOCKLEY (2010): What are Ecosystem Services and Natural Capital, and how does this apply to Soil Science? Conference Proceedings, 1st International Conference and Expoloratory Workshop on Soil Architecture and Physico-Chemical Functions "CESAR".

SAMARASINGHE, Q., GREENHALGH, S. & E.-T. VESELY (2013): Looking at Soils through the Natural Capital and Ecosystem Services Lens. Landcar Research Science Series No. 41. Lincoln: Manaaki Whenua Press.

SAUERWEIN, M. (2006): Urbane Bodenlandschaften – Eigenschaften, Funktionen und Stoffhaushalt der siedlungsbeeinflussten Pedosphäre im Geoökosystem. Habil. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

SAUERWEIN, M. (2011): Urban Soils. In: NIEMELÄ, J. (Ed.): Urban Ecology. Patterns, Processes and Applications. Oxford University Press. 45 – 58.

SAUERWEIN, M. & TH. SCHOLTEN (2011[2]): Anthropogene Böden. In:. Gebhardt, H., Glaser, R., Radtke, U. & P. Reuber (Ed.): Geographie. Spektrum. S. 396-397.

SETÄLÄ, H., BARDGETT, R.D., BIRKHOFER, K., BRADY, M., BYRNE, L., DE RUITER, P.C., DE VRIES, F.T., GARDI, C., HEDLUND, K., HEMERIK, L., HOTES, S., LIIRI, M., MORTIMER, S.R., PAVAO-ZUCKERMAN, M., POUYAT, R., TSIAFOULI, M. & W.H. VAN DER PUTTEN (2014): Urban and agricultural soils: conflicts and trade-offs in the optimization of ecosystem services. - In: Urban Ecosystems 17: 239-253.

STADT HILDESHEIM (2010): Vorentwurf Landschaftsrahmenplan Stadt Hildesheim Teil I: Grundlagen. Hildesheim: Stadt Hildesheim.

STADTMANN, R., ENGEL, N. & M. SAUERWEIN (2013): Urbane Bodenfunktionsbewertung am Beispiel der Stadt Hildesheim. Geoöko, 34, 135 – 176.

STADTMANN, R. (2011): Bodenfunktionsbewertung in urbanen Räumen am Beispiel der Stadt Hildesheim. Bachelorarbeit, Univ. Hildesheim (unveröff.).

THE ECONOMICS OF ECOSYSTEMS AND BIODIVERSITY (TEEB) (2010): Die ökonomische Bedeutung der Natur in Entscheidungsprozesse integrieren. Ansatz, Schlussfolgerungen und Empfehlungen von TEEB – Eine Synthese. Münster: Landwirtschaftsverlag.

VASENEV, V.I., STOORVOGEL, J.J., VASENEV, I.I. & R. VALENTINI (2014): How to map soil organic carbon stocks in highly urbanized regions? – In: Geoderma 229-227: 103-115.

WURSTER, D. & M. ARTMANN (2014): Development of a Concept for Non-monetary Assessment of Urban Ecosystem Services at the Site Level. – In: AMBIO 43: 454-465.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. Martin Sauerwein
Universität Hildesheim
Institut für Geographie
Universitätsplatz 1
D-31134 Hildesheim
martin.sauerwein@
uni-hildesheim.de

B.Sc. Jan-Philip Dieck
Am Reihpiepenfelde 13
D-30455 Hannover
jan-philip.dieck@web.de

M.Sc. Robin Stadtmann
Universität Hildesheim
Institut für Geographie
Universitätsplatz 1
D-31141 Hildesheim
robin.stadtmann@
uni-hildesheim.de