Aus: Lozán, J.L. S.-W. Breckle, H.Graßl & D.Kasang (Hrsg.) (2021): Warnsignal Klima: Boden & Landnutzung. Mit 351 Abbildungen, 34 Tabellen & 4 Tafeln. 400 Seiten. Wissenschaftliche Auswertungen & GEO Hamburg. ISBN/EAN 978-39820067-58 (Zur Zitierweise - s. letzte Seite des Artikels).

5.2 Bodenversiegelung und Änderung des natürlichen Wasserkreislaufs

José L.Lozán & Siegmar-W.Breckle

Das Bedecken des natürlichen Bodens mit Beton, Asphalt oder Steinen wird als Bodenversiegelung oder Flächenversiegelung bezeichnet. Dadurch ist der Boden fast oder komplett wasserdicht, wodurch Regenwasser nicht oder nur wenig versickern kann. Die Komponenten des Wasserkreislaufs werden ungünstig verändert. Der oberflächliche Abfluss ist verstärkt und kann bei Starkregen erhebliche Schäden verursachen. Auch der Gasaustausch des Bodens mit der Atmosphäre sowie weitere Prozesse im Boden werden gehemmt oder gestoppt. Die Bodenversiegelung nimmt v.a. in großen Städten nach wie vor besorgniserregend zu und trägt dort zu der stärkeren Erwärmung bei als im Umland; neue Techniken können Abhilfe schaffen.

***Soil sealing and changes in the natural water cycle**: The covering of the natural soil with concrete, asphalt or stones is called soil sealing or surface sealing. As a result, the floor is almost or completely waterproof, which means that rainwater cannot or very little seepage. The components of the water cycle are changed unfavorably. The superficial runoff is increased and can cause considerable damage in heavy rain. The gas exchange between the soil and the atmosphere and other processes in the soil are also inhibited or stopped. Soil sealing continues to increase worryingly, especially in large cities, and contributes to its greater warming than in the surrounding area; new techniques can help.*

***Sellado del suelo y cambios en el ciclo natural del agua**. El recubrimiento del suelo natural con cemento, asfalto ó piedras se denomina sellado del suelos ó sellado de superficie. Como resultado, el suelo queda casi ó completamente sellado, lo que significa que el agua de lluvia no se filtra nada ó casi nada. El ciclo del agua local cambia negativamente. El flujo superficial del agua en caso de una lluvia fuerte aumenta y puede causar daños considerables. El intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera asi como otros procesos dentro del suelo también se inhiben ó detienen. El sellado del suelo continúa aumentando de manera preocupante, especialmente en las grandes ciudades, y asi aportan significativamente a su mayor calentamiento que en las áreas circundantes. Existen nuevas técnicas que pueden ayudar.*

Der natürliche Wasserkreislauf

Unter natürlichen Bedingungen in einem Wald in Deutschland lässt sich der Wasserkreislauf durch folgende Größen beschreiben. Der Eintrag (input) des Wassers erfolgt durch die Niederschläge ***N***, entweder als Regen oder Schnee (Hagel, Graupelschauer, Tau). Der Austrag (output) ist auf verschiedenen Wegen möglich. Die Verdunstung von den nassen Oberflächen erfolgt als Evaporation ***E***, die Verdunstung von benetzten Pflanzen ist der Wasseranteil, der durch Interzeption ***I*** an Pflanzen festgehalten wird. Die weitere wichtige Größe ist die Transpiration ***T***, der Anteil an Wasser, der durch die

***Abb. 5.2-1: a**: Bodenversiegelung mit Steinen und Asphalt (Foto: Monika Leunig). **b:** Oft wird das Ausmaß des Flächenverbrauchs erst aus der Luft sichtbar: Der sogenannte »Los Angeles-Kreisel« in Gersthofen bei Augsburg (Foto: Klaus Leidorf).*

Pflanzen, aktiv gesteuert durch die Spaltöffnungen der Blätter, an die Atmosphäre abgegeben wird. Diese drei Größen ***ETI*** zusammen machen den Wasserverlust aus, der oberirdisch als Wasserdampf in die Atmosphäre geht.

Der Abfluss flüssigen Wassers kann auch oberirdisch A_o ablaufen, er kann in oberen Bodenschichten als Schichtenwasser A_s, also seitlich, erfolgen und ein Teil des Wassers sickert in die Tiefe in den Untergrund A_u; es speist das Grundwasser.

Für einen bestimmten Landschaftsausschnitt, für einen Wald, für einen Acker oder eine Wiese aber auch für eine Siedlung lässt sich der Wasserhaushalt mit der folgenden Gleichung quantitativ beschreiben:

$$N = E + T + I + A_o + A_s + A_u \pm dR$$

In dieser Gleichung gibt es noch die Speichergröße ***dR***. Sie beschreibt die Menge an Wasser, das im System in einem bestimmten Zeitraum gespeichert oder abgegeben wird. Sie puffert die Austragsgrößen ab, kann positiv oder negativ sein. Über einen längeren Zeitraum hinweg ist dR nahezu gleich Null. dR schließt auch eine zeitweilige Schneedecke mit ein.

Je nach Klima und Ökosystemstruktur können die einzelnen Größen der Wasserhaushaltsgleichung sehr unterschiedlich sein. Ihre Bestimmung ist messtechnisch aufwendig, da über mehrere Jahre hinweg kontinuierlich gemessen werden muss. Im Rahmen des Solling-Projekts (Internationales Biologisches Programm, IBP) wurden zwischen 1968 und 1981 in einer Buchen- (B) - und einer Fichten- (F) Altholzparzelle diese Größen gemessen. Sie sind typisch für ein regenreiches Mittelgebirge in Mitteleuropa (Breckle & Rafiqpoor 2019). *Tab. 5.2-1* gibt einige der mehrjährigen Mittelwerte an.

Was *Tab. 5.2-1* nicht wiedergibt, sind die erheblichen Schwankungen der einzelnen Werte von Jahr zu Jahr (*Abb. 5.2-2*). Generell lässt sich erkennen, dass unter natürlichen Bedingungen in Deutschland die Verdunstung (ETI) rund die Hälfte des Niederschlageintrags ausmacht, die andere Hälfte versickert und trägt zur Grundwasser-Neubildung bei. Ein oberirdischer

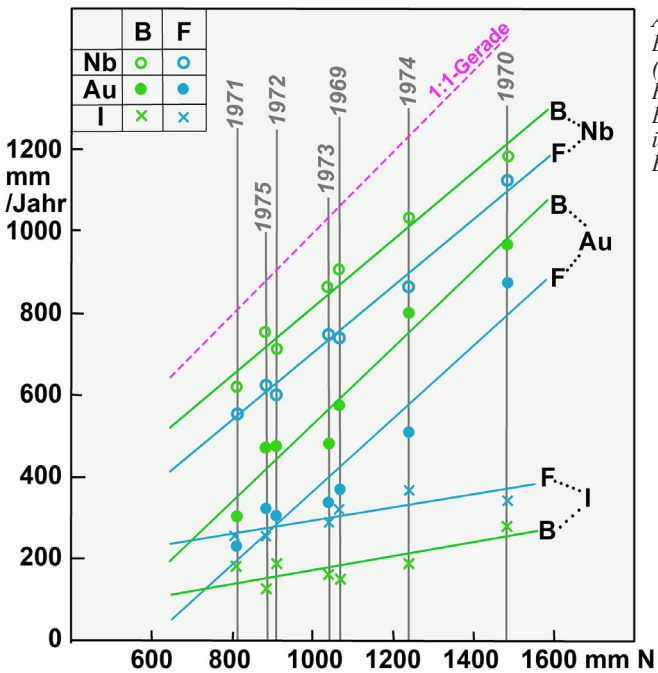

Abb. 5.2-2: *Abhängigkeit der Jahreswerte des Bestands-Niederschlags (Nb), der Interzeption (I) und der Tiefenversickerung (Au) von der Höhe des Gesamt-Niederschlags (N) für die Buchen (B)- und Fichten (F)-Altholzbestände im Solling für die Jahre 1969 bis 1975 (nach Ellenberg et al. 1986).*

Tab. 5.2-1: *Jahresraten der Komponenten des Wasserhaushalts für Buchenaltholz (B) und Fichtenaltholz (F) im Hoch-Solling in mm/Jahr = Liter/(m²×Jahr), nach Ellenberg et al. (1986)*

Zeitraum	Bestand	N	ET	I	Aosu	dR	I %	ETI%	Aosu%
1969-75	B	1060	287	187	588	-2,5	17,6	44,6	55,6
1969-75	F		335	305	423	-2,4	28,8	60,3	39,8
1976-81	B	1025	276	176	572	+1,7	17,1	43,9	55,9
1976-81	F		328	278	419	-0,9	27,2	58,8	41,0

Abfluss ist hier nicht vorhanden. Fichtenwald verdunstet mehr Wasser als Buchenwald, dementsprechend ist die Versickerungsmenge geringer. Dies hängt auch mit der höheren Interzeption im Blätterwerk resp. Nadeln der Kronen zusammen; im Fichtenwald wird man bei einem einsetzenden Regen erst nach ca 5 mm nass, im Buchenwald schon nach etwa 3 mm.

In *Abb. 5.2-2* sind der Bestandsniederschlag (N_b, das ist der Niederschlag N minus die Interzeption I) angegeben in Abhängigkeit vom Gesamt-Niederschlag N für die einzelnen Jahre 1969 bis 1975, die Interzeption (I) sowie der Abfluss (A_u, Grundwasserneubildung). Da Transpiration und Interzeption von Jahr zu Jahr wenig schwanken, ist der Unterschied der Grundwasserneubildung von Jahr zu Jahr sehr groß, je nachdem, wieviel Niederschläge fallen. In einem Feuchtjahr (1975) mit ca 1.500 mm Jahresniederschlag ist die Grundwasserneubildung mit ca. 900 mm über 4× so groß wie im Trockenjahr 1971.

Bodenversiegelung und ökologische Folgen

Besonders häufig ist die Bodenversiegelung in Städten und Siedlungen aufgrund der errichteten Gebäude, Plätze und Straßen (*Abb. 5.2-1a* und *5.2-1b*). Dazu gehören ebenfalls nicht sichtbare Infrastrukturen unter der Erdoberfläche wie z. B. Leitungen, Röhren, Kanäle und Fundamente. Da Städte und Siedlungen weltweit häufig auf fruchtbaren Böden errichtet werden, gehen dadurch wertvolle Flächen unwiderruflich verloren. Unbebaute Stadtteile – wie Freiflächen, Parks, Betriebsflächen und Erholungsflächen sind teilweise mit Beton, Asphalt, Pflastersteinen oder anderen Infrastrukturen bedeckt und damit ganz oder teilweise versiegelt. Ebenfalls stark verdichtete Böden auf verschlämmten Äckern zählen auch zu den teilweise versiegelten Flächen, da sie das Versickern des Oberflächenwassers behindern und die Erosion durch Starkregen beträchtlich sein kann. Die Erosionsrate hängt dabei einerseits von der Versiegelung ab, andererseits von der Art des Bewuchses und der Hangneigung. So ist die Erosionsrate eines offenen Ackerbodens bei 10° Hangneigung in USA etwa 30.000 mal größer als bei einem Laubwald.

Es muss kurz erwähnt werden, dass es auch eine natürliche Bodenversiegelung gibt. So sind in vielen Trockengebieten die Bodenoberflächen, aber auch Sanddünen von einer mikrobiologischen Kruste bedeckt, die die Wasserverhältnisse deutlich verändert. In vielen Savannengebieten gibt es Hartschichten (Krustenböden, Laterite), die den Landschaftswasserhaushalt und die Vegetationsstruktur erheblich beeinflussen. Darauf soll hier aber nicht näher eingegangen werden.

Die Bodenversiegelung in der Kulturlandschaft hat eine Reihe von negativen Folgen für Pflanzen, Tiere und Menschen. Die Umweltbedingungen für Pflanzen in Städten sind vor allem durch einen hohen Versiegelungsgrad und erhöhte Temperaturen (städtische Wärmeinsel) geprägt (Schmidt & Poppendieck 2019). Die unmittelbaren Auswirkungen auf den Wasserhaushalt durch die Bodenversiegelung in Städten sind massiv. Das Regenwasser kann nur wenig versickern und die Grundwasserbildung wird beeinträchtigt oder kommt zum Erliegen. Die Folge ist, dass die Kanalisation und die Vorfluter bei Starkregenfällen durch die oberflächlich schnell abfließenden Wassermassen übermäßig belastet werden; lokal können dadurch Hochwässer auftreten und Schäden verursachen. Mit dem Klimawandel nimmt die Intensität und Häufigkeit der Starkregen zu und somit steigen die Risiken örtlicher Überschwemmungen (Günner et al. 2019).

Auch das Stadtklima wird durch die Bodenversiegelung negativ beeinflusst. Durch den schnellen Abfluss verringert sich die Wasserverdunstung, wodurch sich im Sommer die Kühlungsfunktion des Bodens reduziert. Das trägt zu höheren Temperaturen in den Städten als im Umland bei. Hinzu kommt, dass sich die Städte für Pflanzen, die wichtige kühlende ‚Wasserverdunster' und Schattenspender sind, durch Wassermangel verschlechtern.

Die natürliche Bodenfruchtbarkeit wird durch eine Bodenversiegelung langfristig beeinträchtigt. Der Boden ist dauerhaft von Luft und Wasser abgeschlossen. Dadurch geht die Bodenfauna (Bakterien, Pilze, Würmer etc.) zugrunde, die die Grundlage für den Erhalt und die Neubildung von fruchtbaren, lebendigen Böden darstellt.

Mit zunehmendem Versiegelungsgrad verändern sich die Größen des Wasserhaushalts erheblich, wie *Abb. 5.2-3* an vier Beispielen schematisch erläutert.

Die teilweise dramatischen Hochwasserereignisse der letzten Jahre haben die Sensibilität gegenüber versiegelten Siedlungs- und Verkehrsflächen erheblich verstärkt. Das Niederschlagswasser dieser Flächen soll möglichst nicht mehr gesammelt und abgeleitet werden, sondern an Ort und Stelle versickern.

Diese Form der Regenwasserentsorgung entspricht einerseits der ökologischen Vernunft und wird andererseits in vielen Orten vom Landesrecht oder von Kommunalsatzungen gefordert bzw. teilweise auch gefördert.

Ermittlung der Bodenversiegelung in Deutschland

Luftbildaufnahmen stellen ein wichtiges Hilfsmittel zur Quantifizierung der Bodenversiegelung dar. Sie

werden in Kombination mit Karten, Katasterdaten, Bebauungsplänen oder anderen geographischen Informationen geeicht bzw. validiert. Unsicherheiten gibt es bei der Bewertung von teilversiegelten Flächen. Dazu gehören Flächen mit lose verlegten Platten, Pflastern oder wassergebundenen Decken (Wege mit wassergebundenen Decken mit einem begeh- und befahrbaren Belag bestehend aus mineralischen Gemischen, z.B. Schotter mit einem bestimmten Anteil an Bindemitteln z.B. Kalk). Um eine offizielle Aussage über die Bodenversiegelung eines Landes treffen zu können, hat der Länderausschuss für Bodenschutz (LABO) ein Rechenmodell entwickeln lassen. Details sind auf den Internetseiten der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen der Länder (UGRdL) dokumentiert.

Versiegelung und Versickerung

Wie versickerungsfähig ein Verkehrsflächenbelag ist, wird mit dem Abflussbeiwert ausgedrückt. In *Tab. 5.2-2* finden sich die mittleren Abflussbeiwerte für verschiedene Belagstypen. Daraus geht hervor, dass mit Ökopflastersteinen ein Wert herunter bis zu 0,25 erzielt werden kann.

Je nach Belag lässt sich somit der durch Starkregen bedingte Oberflächenabfluss verringern; dabei haben wasserdurchlässige Pflaster- und Verbundsteine besondere Vorzüge:

a) Die Grundwasserneubildung wird gefördert. Grundwasser stellt eine der wichtigsten Quellen zur Trinkwasser-Gewinnung dar.
b) Hochwasserereignisse können abgemildert werden. Mit Sickerpflaster ist es möglich, einen Beitrag zur

Art des Belags	Abflussbeiwert ψm
Asphalt bzw Beton	0,9
Pflastersteine mit dichten Fugen	0,75
Fester Kiesbelag	0,6
Pflastersteine mit offenen Fugen	0,5
Begrünte Pflastersteine mit aufgeweiteten Fugen	0,4
Lockerer Kiesbelag, Schotterrasen	0,4-0,3
Ökopflaster - Verbundsteine mit Fugen, Sickersteine	0,35-0,25
Rasengittersteine	0,15

Tab. 5.2-2: *Verschiedene Beläge an Verkehrsflächen haben unterschiedliche Abflussbeiwerte, die dem Anteil an oberirdischem Abfluss (A_o) entsprechen.*

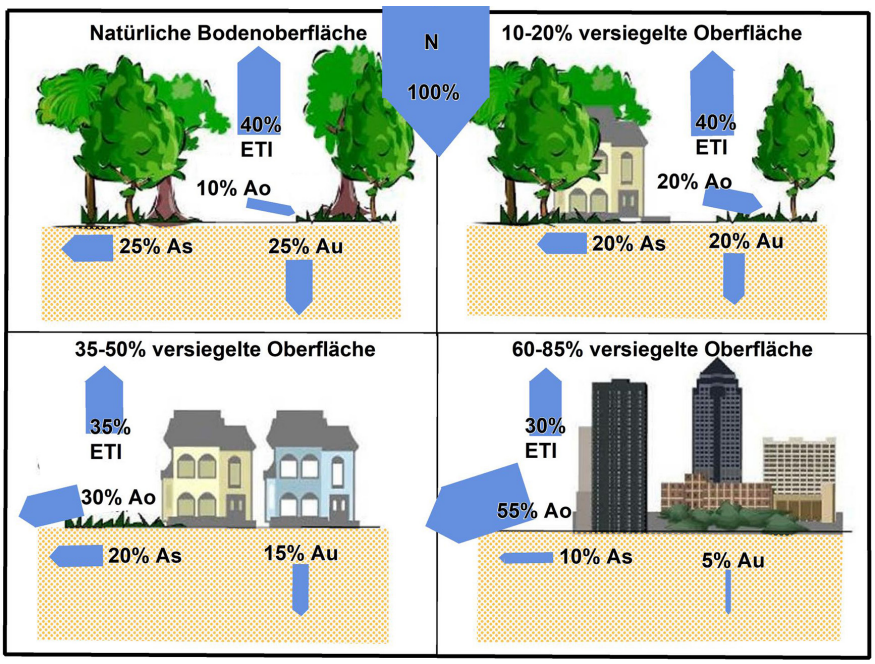

Abb. 5.2-3: *Mit zunehmendem Versiegelungsgrad nimmt der Anteil des oberirdischen Wasserabflusses stark zu, die Wassermenge für Grundwasserneubildung nimmt stark ab.*

Vorbeugung von Hochwasser zu leisten. Bei starken Niederschlägen sammelt sich das Wasser nicht auf der Flächenbefestigung an und wird dementsprechend nicht in den angeschlossenen Kanal abgeleitet.

c) Abwassergebühren können gespart werden. In vielen Kommunen wurde die gesplittete Abwassergebühr für häusliches Schmutzwasser und Niederschlagswasser eingeführt.

d) Die Schmutzwassergebühr für das "gebrauchte Trinkwasser" (Abwasser von der Toilette oder Waschmaschine etc.) deckt die Kosten für die Schmutzwasser-Beseitigung. Als Maßstab für die Berechnung dient die Frischwassermenge. Man geht also davon aus, dass das gesamte Frischwasser, welches im Haushalt verbraucht wird, als Abwasser endet.

e) Die Niederschlagsgebühr für das Oberflächenwasser, welches über versiegelte Flächen in den Kanal fließt, bemisst sich an der Art und Größe der angeschlossenen versiegelten Fläche. Je kleiner die Flächenbefestigungen ausfallen bzw. je mehr Regenwasser versickern kann, desto geringer fallen die Niederschlagsgebühren aus.

f) Kanal und Kläranlagen können entlastet werden. Durch die Entlastung der Kanalnetze sind viel weniger Sanierungsmaßnahmen an den Kanälen notwendig. Auch Überschwemmungen bleiben weitgehend aus. Da sich die hydraulische Belastung der Kläranlagen verringert, können diese ein viel besseres Reinigungsergebnis erzielen.

Bei jeder Art von Versickerung spielt aber der Grundwasserschutz eine zentrale Rolle. Daher sollte das (oft erheblich verschmutzte) Wasser von stark befahrenen Verkehrsflächen erst gefiltert werden. In solchen Fällen ist daher nicht einfaches Versickern, sondern Ableiten und Filtern des Regenwassers die richtige Entscheidung. Versickerungsfähige Pflastersteine eignen sich also nicht für Straßen oder sonstige stark belastete Flächen. Sie sind aber eine gute Wahl für Fuß- und Radwege, den heimischen Garten und die Terrasse, aber auch für gepflasterte Hofflächen und Pkw-Parkplätze.

Für die wasserdurchlässigen Pflasterflächen gilt im Übrigen aber auch, dass es keineswegs ausreicht, wenn nur die Pflasteroberfläche versickerungsfähig ist. Auch unterhalb des Belags muss das Wasser versickern können, sonst staut es sich an der Oberfläche auf. Pflasterbett und -tragschicht müssen nicht nur standfest, sondern zugleich wasserdurchlässig sein. Ebenso die tieferen Erdschichten müssen durch ihren wasserdurchlässigen Untergrund geeignet sein.

Siedlungs- und Verkehrsfläche in Deutschland

In der Regel ist der Versiegelungsgrad innerhalb der Siedlungs- und Verkehrsfläche umso höher, je stärker die Region besiedelt ist. D.h. je stärker die Besiedelung, desto knapper ist der freie Raum. So ist im dicht besiedelten Stadtstaat Berlin etwa 70% der Verkehrsflächen versiegelt. Im dünn besiedelten Mecklenburg-Vorpommern ist dagegen nur etwa 50% der Verkehrsflächen versiegelt. Als Verkehrsfläche werden folgende Bereiche gezählt: Straßen, Wege, Rastplätze und Eisenbahnen sowie auch Böschungen, Seiten- und Mittelstreifen und sonstige Nebenflächen. Für Siedlungsflächen variiert der Versiegelungsgrad ähnlich wie bei den Verkehrsflächen zwischen 55% in den Stadtstaaten und 45% in den dünnbesiedelten Bundesländern.

Nach Angaben des Statistischen Bundesamts nahm die Siedlungs- und Verkehrsfläche von 1992 bis 2019 von 40.305 auf 51.489 km² zu. Das war ein Zuwachs um 11.184 km² in 27 Jahren (*Abb. 5.2-4*): das sind 113,5 ha/Tag. Dabei nahm die Siedlungsfläche um 40,0% und die Verkehrsfläche um 9,8% zu. Diese Zu-

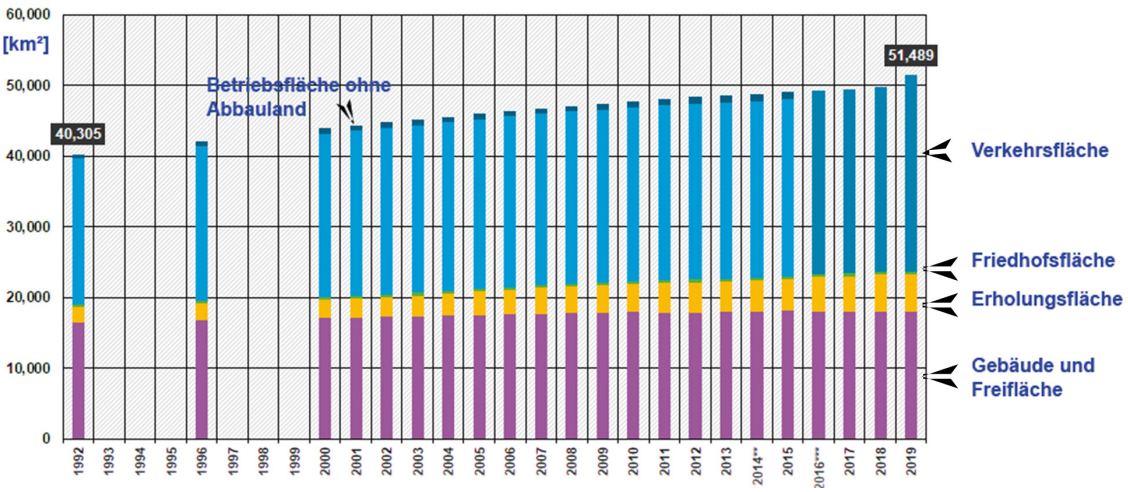

Abb. 5.2-4: *Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsflächen (km²) aufgeteilt nach Nutzungen von 1992 bis 2019 in Deutschland (Quelle: Statistisches Bundesamt) (Mehr Details in UBA 2020b).*

nahme vollzog sich auf Kosten der landwirtschaftlich genutzten Flächen (UBA 2020b).

Wie *Abb. 5.2-5* zeigt, ist die Siedlungs- und Verkehrsfläche in allen 16 Bundesländern von 1992 bis 2018 gewachsen. Gleichzeitig nahm die versiegelte Fläche in allen Bundesländern zu. Die Siedlungs- und Verkehrsfläche ist in den dichtbesiedelten Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen mit Werten von über 56% der Gesamtfläche des jeweiligen Bundeslandes am größten. Bundesweit nahm der Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche im Durchschnitt von 11,5% in 1992 auf 14,4% in 2018 zu. Die versiegelten Flächen sind von 5,3% im Jahre 1992 auf 6,5% im Jahre 2018 angestiegen.

Der Anteil von 14,4% ist im weltweiten Vergleich erheblich. IPCC (2019) gibt weltweit für Städte, Verkehrswege und andere Infrastrukturen nur 1% an (s. *Tab.1.1-1* in diesem Band).

Die jährliche Zunahme der versiegelten Fläche war in den 1990er Jahren nach der Wiedervereinigung überdurchschnittlich hoch. Im Zeitraum 1992-1996 steigerte sich die versiegelte Fläche um 185,8 km²/Jahr und in der Zeit 1997-2000 wuchs sie als Folge eines Baubooms sogar auf 190,8 km² pro Jahr. Die Zunahme versiegelter Flächen hat auch mit einem stetigen Wachstum der Verkehrsflächen zu tun, denn gerade Verkehrsflächen haben einen relativ hohen Anteil versiegelter Flächen (50-70%) (UBA 2020a).

Niederschläge, die auf diese Flächen treffen, können nicht versickern, sondern werden in die Kanalisation bzw. direkt in die Flüsse geleitet. Dies hat zur Folge, dass das Kanalisationsnetz größer dimensioniert werden muss und bei Starkregenereignissen die Gefahr von Hochwasser steigt. Hinzu kommt, dass der Grundwasserspiegel in Siedlungsgebieten fällt und durch die verminderte Verdunstung das Kleinklima negativ beeinflusst wird.

Siedlungen und Städte sollten in Zukunft ihre Planung so gestalten, dass sie„Schwammstädte" werden, d.h. sie müssen eine wesentlich größere Wassermenge „aufsaugen" können wie ein Schwamm. Dies läßt sich u.a. erreichen durch mehr Grün, Begrünung von Fassaden, Dächern und Straßenzügen, Freilegung kanalisierter Bäche und Anlage von Kleingewässern. Niederschlagswasser muss erst dazwischengespeichert werden, wo es anfällt.

Der Flächen-Neuverbrauch muss zurückgehen

Der tägliche Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche war in der Zeit von 1997-2000 hoch und betrug im Durchschnitt 129 ha/Tag. Die Inanspruchnahme neuer Flächen ist jedoch seit 2000 tendenziell mit leichten Schwankungen in den Einzeljahren zurückgegangen. Im Jahr 2018 betrug sie nur noch 56 ha/Tag. Im Rahmen der Nationalen Nachhaltigkeitsstrategie hat die Bundesregierung (2018) das Ziel vorgegeben, den Zuwachs der Siedlungs- und Verkehrsflächen bis zum Jahr 2030 auf 30 ha minus x pro Tag zu reduzieren (*Abb. 5.2-6*).

Nach dem integrierten Umweltprogramm des Bundesministeriums für Umwelt (BMU) soll für das Jahr 2030 sogar das Ziel von 20 ha/Tag und dann spätestens bis zum Jahr 2050 der Übergang zum Netto-Null-Ziel angestrebt werden. Damit wurde politisch anerkannt, dass Boden eine bedeutsame begrenzte natürliche Ressource darstellt und unter Schutz gestellt werden muss.

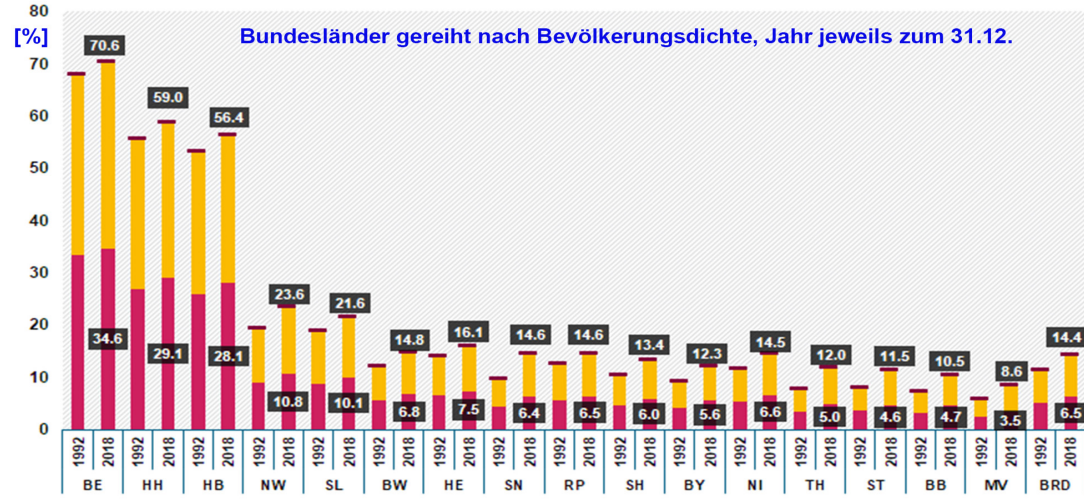

Abb. 5.2-5: *Anteil der Siedlungs- und Verkehrsfläche in den Bundesländern aufgeteilt in unversiegelten (gelb) und versiegelten Flächen (rot) für die Jahre 1992 und 2018. Die Bundesländer sind nach Bevölkerungsdichte geordnet. Zum Vergleich wird der Mittelwert für ganz Deutschland (BRD) aufgeführt (aus: UBA 2020a).*

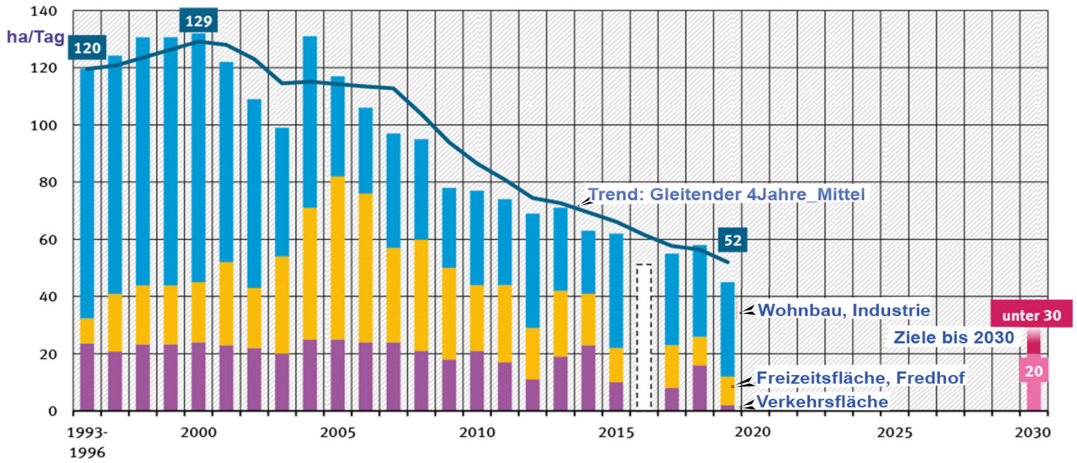

Abb. 5.2-6: *Abnahme des täglichen Anstiegs der Siedlungs- und Verkehrsfläche (ha/Tag) von 1993 bis 2018 in Deutschland mit der Prognose bis 2030 (2016: Siedlungs- und Verkehrsfläche zusammen) (aus UBA 2020b geändert).*

Die wasserdurchlässigen Befestigungen von Verkehrsflächen sollten nach Möglichkeit, wie die maßgebende Forschungsanstalt für Straßen- und Verkehrswesen fordert, eine sog. Bemessungsregenspende von 270 L/(ha·sec) aufweisen, die ohne Rückstau versickern kann. Das entspricht einer Menge von ca. 97 L je m² und Stunde (mm/h). Für Dachflächen und Grundstücksflächen werden unterschiedliche Werte verrechnet. Das Gefälle bei Flächenbefestigungen sollte im Bereich von 1 bis 5% liegen, um den Oberflächenabfluss möglichst gering zu halten.

Mit dem Konzept der dezentralen Regenwasserbewirtschaftung steht inzwischen eine Alternative für einen nachhaltigeren Umgang mit dem Regenwasser zur Verfügung. Regenwasserbewirtschaftung steht dabei nicht für ein einzelnes Verfahren, sondern für eine Vielzahl verschiedener Maßnahmen, die entsprechend den örtlichen Bedingungen und Anforderungen ausgewählt und ggf. auch kombiniert werden.

In Deutschland gibt es mittlerweile immer mehr Beispiele ausgeführter Regenwasser-bewirtschaftungsanlagen, die sich am natürlichen Wasserhaushalt orientieren und die Gewässerbelastung reduzieren (Sieker et al. 2006, Sieker 2021, Sommer 2019). Die dazu notwendigen Technologien wie z.B. Pflasterungen, Versickerungsanlagen, Mulden-Rigolen-Systeme, Dachbegrünung oder Regenwassernutzungsanlagen sind seit längerem erprobt.

Es bedarf den Mut zur Veränderung und den politischen und gesellschaftlichen Willen vorgegebene Ziele auch zu erreichen.

Literatur

BRECKLE S.-W. & M. D. RAFIQPOOR (2019): Vegetation und Klima. Springer 484 pp.

BUNDESREGIERUNG (2018): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Aktualisierung 2018. *https://www.bundesregierung.de/resource/blob/975274/1546450/65089964ed4a2ab07ca8a4919e09e0af/2018-11-07-aktualisierung-dns-2018-data.pdf?download=1.*

ELLENBERG H., R. MAYER & J. SCHAUERMANN (1986): Ökosystemforschung, Ergebnisse des Sollingprojektes 1966-1986. Ulmer, Stuttgart 507 S.

GÜNNER C., F. MEINZINGER & A. KUCHENBECKER (2019): Paradigmenwechsel im Umgang mit dem Regenwasser in wachsenden Städten. In: LOZÁN J. L. S.-W. BRECKLE, H. GRASSL, W. KUTTLER & A. MATZARAKIS (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Städte. pp. 233-239. *www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.*

IPCC (2019): IPCC-Sonderbericht über Klimawandel und Landsysteme (SRCCL). Sonderbericht über Klimawandel, Desertifikation, Landdegradierung, nachhaltiges Landmanagement, Ernährungssicherheit und Treibhausgasflüsse in terrestrischen Ökosystemen. Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. 38 S.

SCHMIDT K. & H.-H POPPENDIECK (2019): Pflanzenreaktionen auf das Stadtklima. In: Lozán J. L. S.-W. Breckle, H. Grassl, W. Kuttler & A. Matzarakis (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Städte. pp. 159-165. *www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.*

SIEKER F., KAISER, M., SIEKER, H. 2006: Dezentrale Regenwasserbewirtschaftung im privaten, gewerblichen und kommunalen Bereich (Grundlagen und Ausführungsbeispiele). Fraunhofer IRB Verlag/Stuttgart 232 S.

SIEKER F. (2021): *https://www.sieker.de/fachinformationen/umgang-mit-regenwasser/probleme-der-regenentwaesserung/article/abflussverschaerfung-81.html* (abgerufen 16.05.2021).

SOMMER H. (2019): Regenwassermanagement zur Überflutungsvorsorge. Quartier Fachmagazin für urb. Wohnungsbau, Heft 3: 36-41.

UBA (2020a): Bodenversiegelung. Umweltbundesamt. *https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung#okologische-auswirkungen* (abgerufen am 12.5.2021).

UBA (2020b): Siedlungs- und Verkehrsfläche. *https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/flaeche/siedlungs-verkehrsflaeche* (abgerufen am 12.5.2021).

Kontakt:

Dr. José L. Lozán
Wissenschaftliche Auswertungen
JL-Lozán@t-online.de

Prof. i. R. Dr. Siegmar-W. Breckle
Ökologie, Bielefeld
sbreckle@gmx.de

Lozán J. L. & S.-W. Breckle (2021): Bodenversiegelung und Änderung des natürlichen Wasserkreislaufs. In: Lozán J. L., S.-W. Breckle, H. Graßl & D. Kasang (Hrsg.). Warnsignal Klima: Boden & Landnutzung. S. 232-238. Wissenschaftliche Auswertungen in Kooperation mit GEO, Hamburg. www.warnsignal-klima.de. DOI:10.25592/warnsignal.klima.boden-landnutzung.32