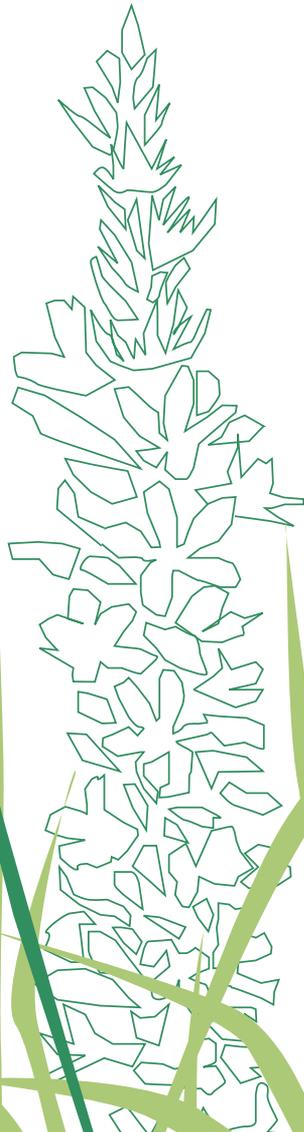


ZUM THEMA

Sumpfpflanzendächer



Inhalt



Lokales Wassermanagement, natürliche Klimatisierung und erhöhte Biodiversität machen Sumpfpflanzendächer zu nachhaltigen Lösungen im Gebäudebereich...
ab Seite 6



Mit seinem Ingenieurbüro hat Michael Blumberg einige Sumpfpflanzendächer geplant und bautechnisch begleitet. Lesen Sie mehr im Interview **ab Seite 30**



Gerade in Städten bieten Sumpfpflanzendächer wertvolle Biotope für Vögel und Insekten. Eine Münchner Firma stellt ihre Lösung vor... **ab Seite 29**

Sumpfpflanzen zur Dachbegrünung **4**

A. Zehnsdorf, R. Trabitzsch (UFZ)

Vorwort **5**

G. Mann (Präsident vom Bundesverband GebäudeGrün e.V. [BuGG])

Sumpfpflanzendächer – Stand der Anwendung und Forschung **6**

A. Zehnsdorf, S. Knechtel, R. Trabitzsch (UFZ)

Dachwiese für Kühlwasser **14**

K. Kalveram, M. Henke (Kelterei Possmann)

Industrielle Abwasserreinigung mit Sumpfpflanzen auf dem Dach **20**

S. Sahehamamad, J. Fries (John Deere Deutschland)

Feuchtbeet für Vögel und Insekten – München **29**

C. Hanuss (Jühling & Partner Landschaftsarchitekten bdla mbB)

Sumpfpflanzendächer aus der Sicht des Planers – Grundlagen und Perspektiven aus der Praxis **30**

Interview mit Michael Blumberg (Ingenieurbüro Blumberg)

Sumpfpflanzendach zur Klimatisierung eines Firmengebäudes **42**

J. Heinrich (JenSys)

Hydrovegetationsdach Westfalzschule – Weilerbach **45**

B. Domanetzki (Verbandsgemeindeverwaltung Weilerbach)

Einfamilienhaus „Aqua“ in Zofingen – Schweiz **46**

(WW Wohnwagon GmbH)

Grünkläranlage auf dem Dach eines Wohnwagens - Österreich	48
<i>T. Steininger (WW Wohnwagon GmbH)</i>	
Sumpfpflanzendach auf einem Carport	49
<i>J. Mählmann (Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.)</i>	
Langzeiterfahrungen mit einem textilbasierten Sumpfpflanzendach	61
<i>R. Arnold, J. Mählmann (Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.)</i>	
Das Moor auf dem Dach ? Tastversuche und Visionen	67
<i>W. Kircher, A. Thon (HS Anhalt)</i>	
Wasserpflanzen - Potenziale für eine verbesserte Wasserspeicherung auf Dächern?	79
<i>H. Günther (Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden)</i>	
Auch Kühe mögen es kühl	86
<i>H. Georg, K. Sporkmann (Thünen-Institut)</i>	
Parameterermittlung an Sumpfpflanzen in unterschiedlichem Maßstab	93
<i>R. Trabitczsch, A. Zehndorf, U. Schlink, D. Bunge, H. Weiß (UFZ)</i>	
Trockenstress bei Sumpfpflanzendächern - Überleben ohne Bewässerung	100
<i>K. C. U. Willebrand, J. Friesen, A. Zehndorf (UFZ)</i>	
Sumpfpflanzendächer - Rechtliche Rahmenbedingungen	106
<i>H. Fischer, M. Reese (UFZ)</i>	



*Es gibt auch kleinteilige Lösungen für Sumpfpflanzendächer. Eine Österreicherin macht es vor. Lesen Sie **ab Seite 48***



*Wie überleben Sumpfpflanzendächer den heißen Sommer? Forschungen zum Thema Trockenstress werden vorgestellt ...
ab Seite 100*

Widmung

Im Gedenken an den fünften Todestag von Herrn Dr. Peter Kuschik (1955 bis 2014), der am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ das Potenzial der Wasserreinigung mit Sumpfpflanzenmatten frühzeitig erkannte.

Sumpfpflanzen zur Dachbegrünung

4

Im Rahmen des Projektes „Forschungsgründach“ am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) wird auch die Wirkung von Sumpfpflanzen als Dachbegrünung näher untersucht. Insbesondere im Zuge der immer häufigeren Forderung nach regenwasserabflussfreien Wohnquartieren, vor allem in wachsenden Städten, werden Sumpfpflanzen mit ihrer hohen Verdunstungsleistung für die Dachbegrünung zunehmend interessant. Auch hinsichtlich der Gebäudekühlung und der Verbesserung des Stadtklimas erscheinen Sumpfpflanzendächer vielversprechend. Schließlich gibt es Überlegungen Grauwasser mit Sumpfpflanzendächern zu behandeln und so zumindest einen erheblichen Teil des im Haus anfallenden „Abwassers“ am Ort des Anfalls zu behandeln. Daraus resultiert eine Reihe interessanter Anwendungsmöglichkeiten von Sumpfpflanzendächern. Für ihren optimalen Einsatz soll das UFZ-Forschungsgründach unter anderem detaillierte Daten zur Physikochemie, wie die Evapotranspiration im Jahresgang, zur Klimawirkung, zum Einfluss auf die Biodiversität und vieles mehr liefern.

Obwohl es in Deutschland ein Sumpfpflanzendach gibt, das bereits mehr als 25 Jahre in Betrieb ist (Firma Possmann, Frankfurt-Rödelheim), sind Kenntnisse über diese Art der Dachbegrünung bisher wenig verbreitet. Auch war der Einsatz von Sumpfpflanzen auf Dächern anfangs vorrangig von praktischen Erwägungen, wie ebenerdigen Platzmangel, verbunden mit dem Ziel der naturnahen und kostengünstigen Wasserreinigung oder der Kühlung von Gebäudeteilen, getragen. Im landwirtschaftlichen Bereich wurde die Kühlung von Kuhställen durch Sumpfpflanzendächer untersucht.

Ein durchaus vielversprechender Ansatz wie sich zeigte. Ein erfreulicher „Nebeneffekt“ war zudem die optische Aufwertung der Dachflächen und die Steigerung der Attraktivität dieser Areale für allerlei Tiere.

In neuerer Zeit geht der Einsatz von Sumpfpflanzen als Dachbegrünung immer mehr mit dem Gedanken des wasserautarken Wohnens einher. Basis ist dabei die Reinigung von Grau- und Regenwasser durch ein Sumpfpflanzendach, so dass dieses Wasser nach weiterer Aufbereitung wieder verwendet werden kann. Ein derartiges „Wasserkreislaufsystem“ findet auch immer öfter bei der Idee vom „Tiny-House“ Anwendung, mithin bei kleinen meist transportablen und weitestgehend autarken Häusern. Nicht zuletzt wird der Ansatz der Wasserautarkie unter Nutzung von Sumpfpflanzen zur Dachbegrünung auch beim Entwurf von Häusern nach dem Cradle to Cradle - Prinzip häufig verfolgt. Besonders bei beschränkten ebenerdigen Platzverhältnissen gewinnt die Nutzung der Dachfläche zur Begrünung und gleichzeitigen Wasserbehandlung zunehmend an Attraktivität. Es scheint sich der Gedanke durchzusetzen, dass die Dachfläche durchaus mehr sein kann als ein Deckel, der dafür sorgt, dass es in das jeweilige Gebäude nicht hinein regnet.

Es zeigt sich wie vielfältig der Einsatz von Sumpfpflanzen als Dachbegrünung sein kann. Andererseits gibt es bisher nur wenige praxisbezogene Übersichtspublikationen zu diesem Thema. Das vorliegende Themenheft „Sumpfpflanzendächer“ präsentiert unterschiedliche Anwendungsbeispiele und die Erfahrungen der Anlagenbetreiber.

Wir wünschen den Lesern eine interessante und unterhaltsame Lektüre!

Andreas Zehnsdorf, Ralf Trabitzsch

www.ufz.de/forschungsgruendach



Vorwort



Gunter Mann

*Präsident des Bundesverbandes
Gebäudegrün e. V. (BuGG)*

Albrechtstraße 13

10117 Berlin

Telefon: +49 (0)30 40 05 41 02

E-Mail: info@bugg.de

www.gebaeudegruen.info

Liebe Leserinnen und Leser,

täglich werden in Deutschland etwa 60 Hektar Natur versiegelt. Die Hälfte dieser Flächen verschwindet langfristig aus dem natürlichen Wasserkreislauf. Neben dem Flächenverbrauch durch Städtewachstum zwingen uns Klimawandel, Artenschwund und auch Bevölkerungsentwicklung zum Umdenken und Handeln. Immer mehr Menschen drängen zurück in die Städte, die Forderungen nach mehr und bezahlbarem Wohnraum werden lauter, doch woher nehmen? Weitere Naturflächen überbauen? Nachverdichten? Doch wo bleiben die lebenswichtigen Grünflächen? Die urbanen Hitzeeffekte werden durch Sonne, dunkle Gebäude und Straßen, versiegelte Oberflächen und dem schnell abfließenden Regenwasser verursacht. Ohne Pflanzen fehlt die Transpiration und damit verbunden die Verdunstungskühlung.

Noch mehr und noch dichter bauen heißt nach Lösungen zu schauen, die dennoch ausreichend Grünflächen für Mensch und Tier schaffen. Hierfür bieten sich aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse in der Stadt verdunstungsstarkes und artenreiches Grün in Form von Dachbegrünungen an.

Obwohl wir in 2018 immerhin etwa sieben Millionen Quadratmeter Dachfläche begrünt haben, sind das nur etwa 10 Prozent der neu entstandenen Flachdächer. Wir haben also Handlungsbedarf und uns stehen auch ausreichend Flächen auf unseren Dächern zur Verfügung.

Sumpfpflanzendächer sind bisher, bis auf wenige Ausnahmen, kaum in den Medien erschienen, so dass der Eindruck entstanden ist, dass dies eine Sonderbauweise für Einzelfälle wäre. Doch das vorliegende Themenheft „Sumpfpflanzendächer“ mit einer hervorragenden Zusammenstellung verschiedener Forschungsergebnisse und Praxisbeispielen räumt mit Vorurteilen und Vorbehalten auf. Es zeigt die vielfältigen Möglichkeiten anschaulich auf, die Sumpfpflanzendächer bieten können.

Die Grundlagen sind also vorhanden – wir müssen sie nur nutzen, anwenden und in vielen Projekten mit Sumpfpflanzendächern umsetzen!

Herzliche Grüße

Dr. Gunter Mann

Präsident

Bundesverband GebäudeGrün e. V. (BuGG)

The background of the entire page is a close-up photograph of a lush green plant with several tall, upright stems. Each stem is topped with a dense, elongated cluster of small, light purple flowers. The leaves are long, narrow, and pointed, creating a dense, textured appearance. The lighting is bright, suggesting a sunny day, which highlights the vibrant colors of the plants.

Sumpfpflanzendächer – Stand der Anwendung und Forschung

Die hohe Verdunstungsleistung der Sumpfpflanzen und die damit verbundenen Möglichkeiten des lokalen Wassermanagements und der Klimatisierung machen diese Form der Dachbegrünung zunehmend interessant.

Andreas Zehndorf, Sarah Knechtel, Ralf Trabitzsch (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ)

Wasserreinigung

Zum Einsatz von Sumpfpflanzen zur (Ab-)Wasserreinigung leistete Dr. Käthe Seidel (Krefeld) bereits in den 1950er Jahren Pionierarbeit. Während sich Pflanzenkläranlagen relativ schnell für die dezentrale Abwasserreinigung etablierten, führen Sumpfpflanzendächer jedoch bis heute eher ein „Exotendasein“ (SEITZ 1993, DERNBACH 2002, THANH 2017). Im Zuge des weltweiten Bevölkerungswachstums in Städten und Metropolregionen und der daraus resultierenden baulichen Verdichtung werden sie allerdings ein entscheidender Faktor für die Zukunftsfähigkeit urbaner Strukturen, insbesondere in Asien, sein können (vgl. Blumberg, ab S. 30 in diesem Heft). Diese Entwicklung geht auch mit der Erkenntnis einher, dass das Gebäudedach durchaus mehr Funktionen erfüllen kann als den bloßen Schutz des Gebäudeinneren vor Niederschlag, zumal die Investition für diese Fläche ohnehin bereits beim Grundstückskauf getätigt wurde. Verschiedene Einsatzmöglichkeiten und Effekte von Sumpfpflanzendächern sind auf der Basis einer Literaturrecherche in Tabelle 1 zusammengestellt, die Tabelle 2 zeigt eine Patentrecherche zu internationalen Initiativen auf diesem Gebiet.

Grauwasser und Regenwasser

Die dezentrale Behandlung von Grauwasser (Wasser, das im Haus anfällt, mit Ausnahme der Toilettenspülung) findet insbesondere in wachsenden Städten immer größere Beachtung. Dadurch können bestehende Abwasserentsorgungssysteme entlastet und kostenintensive Erweiterungen vermieden werden. Da in der Regel ebenerdige Flächen teuer und meistens bereits für andere Nutzungen verplant sind, ist die Grauwasserbehandlung mit Hilfe von Sumpfpflanzenmatten auf Gebäudedächern inzwischen auch aus ökonomischen Gründen eine praktikable Option. Neben der Wasserbehandlung wirkt sich dieses Vorgehen zudem positiv auf die Gebäudeklimatisierung aus (THON 2009, ZEHNSDORF 2018). In einem Test unter Praxisbedingungen konnte mit Hilfe einer

Pilotanlage (Abb. 1) gezeigt werden, dass eine Sumpfpflanzenmatte mit 0,1 m Wurzelschichthöhe in der Vegetationszeit bei hydraulischen Flächenbelastungen bis 15 L/m²/d für die Behandlung von typischem Grauwasser eines Wohnhauses geeignet ist (STOCK 2015, WANKE 2015, ZEHNSDORF u. a. 2016). Durch die simultane Behandlung von Grauwasser können derartige Anlagen auch für die Behandlung und Verdunstung von Regenwasser vorgesehen werden, da sie durch das kontinuierlich anfallende Grauwasser auch längere niederschlagsfreie Zeiten gut überstehen (ZEHNSDORF et al. 2019). Ein zukunftsweisendes Einsatzgebiet für Sumpfpflanzendächer ist die Ausstattung von wasserautarken „Tiny House“ – Projekten und auch von Wohnwagen (vgl. Steininger, S. 48 in diesem Heft), was aktuell zunehmendes Interesse findet (STEININGER 2015). Aber auch ganze Häuser werden inzwischen mit derartigen Dächern ausgestattet, wie beispielsweise das Hydrovegetationsdach der Gesamtschule Weilerbach (vgl. Domanetzki, S. 45 in diesem Heft), oder ein Wohnhaus in Zofingen in der Schweiz (vgl. Jud, S. 46 in diesem Heft).



Abb. 1: Durchwurzelte Sumpfpflanzenmatte der Pilotanlage zur Grauwasserbehandlung (Foto: A. Zehnsdorf).

Kommunales Abwasser

Innovativen und in Deutschland bisher weitgehend unerprobten technischen Optionen zur Abwasserbeseitigung wird häufig entgegengehalten, sie seien rechtlich nicht zulässig. Diese pauschale Annahme kann für Sumpfpflanzendächer nicht aufrechterhalten werden (vgl. Reese u. a., ab S. 106 in diesem Heft). Dass Sumpfpflanzendächer einen Beitrag zur Abwasserbehandlung leisten können, wird durch Untersuchungen mit Pilotanlagen in Asien (Vietnam) gezeigt (THANH et al. 2012 und 2013, VO et al. 2017 und 2018). Es wurde festgestellt, dass Sumpfpflanzendächer kommunale Abwässer soweit reinigen können, dass das behandelte Wasser die Anforderungen der nationalen Abwasserbehandlungsnormen erfüllt. Vergleiche mit potenziell geeigneten regionaltypischen Pflanzen ergaben, dass es bei den untersuchten Spezies durchaus Unterschiede in der Reinigungsleistung und der Effizienz der Nährstoffentfernung gibt (VAN et al. 2015). Da konventionelle Pflanzenkläranlagen, die sich inzwischen für die dezentrale Behandlung kommunaler Abwässer etabliert haben, in der Regel die zulässigen Lasten überschreiten, um auf einem Dach platziert zu werden, wurde in den Niederlanden ein Konzept für ein

entsprechendes Sumpfpflanzendach (Constructed Wetroof) entwickelt (ZAPATER-PEREYRA 2015). Dazu wurden verschiedene Substrate hinsichtlich ihrer hydraulischen Verweilzeit, Langzeitstabilität und der erforderlichen Lastreserve des Daches untersucht (ZAPATER-PEREYRA et al. 2013). Auch der Einfluss des Wetters, insbesondere von Niederschlag und Trockenheit auf den Reinigungserfolg wurde analysiert und dabei festgestellt, dass obwohl die Hydrologie des „Constructed Wetroofs“ stark wetterabhängig war, die Wasserbehandlungseffizienz davon nicht beeinflusst wurde (ZAPATER-PEREYRA et al. 2016).

Industrielles (Ab-)Wasser

Für die Behandlung industrieller Prozesswässer sind Sumpfpflanzendächer dann besonders gut geeignet, wenn es sich beim gewünschten Reinigungsprozess um die Entfernung von Pflanzennährstoffen handelt. Zur Entfernung von Phosphor aus dem in der Produktion anfallenden Wasser setzt der Traktorenhersteller John Deere in Mannheim (vgl. Fries, ab S. 20 in diesem Heft) bereits seit 2001 ein Sumpfpflanzendach (Abb. 2) mit einer Fläche von 160 m² erfolgreich ein (SIMANTKE 2010, ZIEM 2010, BAUER 2010).



Abb. 2:
Sumpfpflanzendach zur
Prozesswasserbehand-
lung der Firma John
Deere in Mannheim 2018
(Foto: A. Zehnsdorf).

Natürliche Klimatisierung

Neben dem Potenzial der umweltverträglichen und platzsparenden Wassereinigung haben Sumpfpflanzendächer auch einen positiven Einfluss auf das Klima in Gebäuden und der unmittelbaren Umgebung.

Kommunale Gebäude

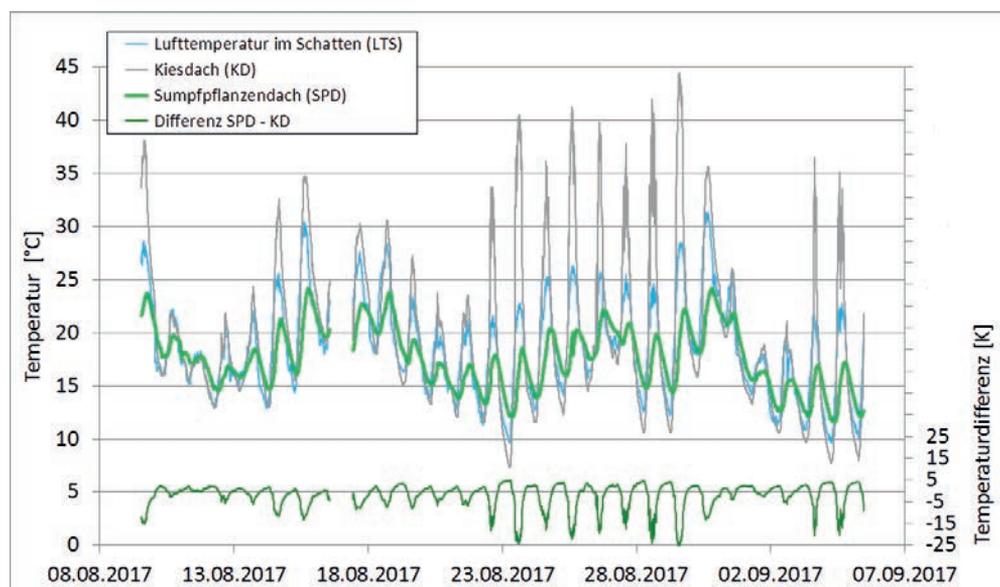
Durch die hohe Verdunstungsrate der Sumpfpflanzen bei diesen Gründachsystemen kann die Temperatur im Gebäude an heißen Sommertagen effizient gesenkt werden. Im Winter wirkt das Sumpfpflanzendach dagegen isolierend, so dass der Wärmeverlust über das Dach verringert wird (SONG et al. 2013). Versuche zum Kühleffekt eines Sumpfpflanzendaches wurden an einer Pilotanlage während der Vegetationsperiode 2017 durchgeführt (ZEHNSDORF 2018). Dazu wurde das Sumpfpflanzendach viermal täglich mit 10 Liter Wasser pro Quadratmeter bewässert. Bei dieser Wassermenge fiel der Ablauf des Pilotdachs im Versuchszeitraum nie trocken und es stand für die gesamte Dachfläche permanent Wasser zur Verdunstung durch die Sumpfpflanzen zur Verfügung. Von An-

fang August bis Anfang September wurde die Temperatur im Zentrum des Wurzelraums gemessen und aufgezeichnet (Abb. 3); als Referenz diente ein Kiesdach mit weißem Kies. Die maximale Temperaturdifferenz zwischen den beiden Dächern betrug 25 K. Viele Aspekte zur detaillierten Wirkung von Sumpfpflanzendächern, insbesondere zur Klimawirkung, zur Evapotranspiration und zur Biodiversität, bedürfen allerdings noch näherer wissenschaftlicher Untersuchung (vgl. Trabitzschn u. a., ab S. 93 in diesem Heft).

Industriegebäude

Das mit 3000 m² größte Sumpfpflanzendach in Deutschland wird bereits seit 1991 von der Firma Possmann in Frankfurt betrieben (vgl. Kalveram, ab S. 14 in diesem Heft). Das Dach dient zum Sammeln von Regenwasser und dessen Nutzung zur Kühlung von Apfelwein im Lagerkeller (ZIEPKE 1992, LUDWIG 1994). Durch die Nutzung der Verdunstungskälte werden chemische Kühlmittel nicht mehr gebraucht, zudem wurden die sonst nötigen Kühltürme überflüssig – zweifelsfrei ein ökonomischer Vorteil. Das Sumpfpflanzendach entwickelte sich zu einem Biotop und wertet das

Abb. 3: Temperatur im Zentrum des Wurzelraums der Sumpfpflanzen und des Kiesdachs (Grafik: A. Zehnsdorf).



begrünte Dach obendrein optisch auf (Abb. 4). Für diese innovative Anwendung erhielt die Firma Possmann den Ehrenpreis der Stadt Frankfurt als „Wassersparer des Jahres 1996“ (GOTTA 2012).

Stallgebäude

Ein sehr interessanter Ansatz ist auch die Sumpfpflanzenbegrünung von landwirtschaftlichen Stalldächern in der Milchviehhaltung

Tab. 1: Einsatzmöglichkeiten für Sumpfpflanzendächer (Literaturrecherche, Stand 05.03.2019)

Kategorie	Thema	Ergebnis	Referenz	
Wasserreinigung	Grauwasser	Einsatz von Sumpfpflanzendächern zur naturnahen, dezentralen Grauwasserreinigung in einer Pilotanlage	Nachweis der Funktion in der Vegetationszeit mit Flächenbelastung von 15 L/m ² /d	STOCK 2015, WANKE 2015, ZEHNSDORF et al. 2016
		Sumpfpflanzendachsystem „Green Roof-top Water Recycling System“ zur Aufbereitung + Wiederverwendung von Grauwasser	Einhaltung der US-Vorgaben zur Wiederverwendung für behandeltes Grauwasser	RAMPRASAD et al. 2017
	Grauwasser + Regenwasser	Verwendung von Sumpfpflanzen zur Aufbereitung von Grauwasser eines Wohnwagens, siehe Beitrag auf Seite 48	Ausstattung eines wasserautarken Wohnwagens (Tiny House)	STEININGER 2015
		dezentrales Regenwassermanagement im urbanen Raum durch Verdunstung über Sumpfpflanzendächer	Kombination aus Grauwasser als Grundversorgung und Regenwasserverdunstung	ZEHNSDORF 2018, ZEHNSDORF et al. 2019
	Kommunales Abwasser	Abwasserbehandlungssystem auf dem Dach eines Gebäudes	Auswahl geeigneter Matrix (hydraulische Verweilzeit, Langzeitstabilität, Lastreserve)	ZAPATER-PEREYRA et al. 2013, 2016, ZAPATER PEREYRA 2015
		Behandlung von häuslichem Abwasser in Vietnam mit heimischen Pflanzen und unter tropischen Bedingungen	Einhaltung der Grenzwerte der nationalen Abwasservorschriften für Vietnam	THANH et al. 2012, THANH et al. 2013
		Vergleichende Untersuchung der Reinigungsleistung von in Vietnam heimischen Pflanzenarten, im Pilotmaßstab	Identifizierung für die Region besonders geeigneter Pflanzenarten	VO et al. 2017, VO et al. 2018
		Nährstoffentfernung aus häuslichem Abwasser mit unterschiedlichen Pflanzen	Ermittlung der Effizienz der Nährstoffentfernung und besonders geeigneter Pflanzen	VAN u.a. 2015
	Industrielles Ab-)Wasser	Sumpfpflanzendachkläranlage der Mannheimer Traktorenfabrik John Deere, siehe Beitrag auf Seite 20	Ressourcen- und platzsparende Möglichkeit zur Wasserreinigung	SIMANTKE 2010, ZIEM 2010, BAUER 2010
	allgemein	Einsatz von Sumpfpflanzen zur Wasserreinigung, möglicher Aufbau	Vorstellung unterschiedlicher Einsatzmöglichkeiten für Sumpfpflanzendächer	SEITZ 1993, DERNBACH 2002, THANH 2017
Klimatisierung	Gebäude	Einsatz von Sumpfpflanzendächern als natürliche Klimaanlage	Kühlung durch Evaporation im Sommer und Regulierung des Wärmeverlustes im Winter	SONG et al. 2013
	Urbanes Mikroklima	Mikroklimatische Vorteile von Sumpfpflanzendächern im urbanen Raum, siehe Beitrag auf Seite 67	Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und Senkung der Lufttemperatur im urbanen Raum	THON et al. 2010
	Industrie	Temperierung des Kellerei-Kühlwassers einer Apfelweinkellerei, siehe Beitrag auf Seite 14	Einsparung von Strom- und Wasserkosten gegenüber vorherigem Kühlsystem	ZIEPKE 1992, Ludwig 1994
	Landwirtschaft	Verringerung der Hitzebelastung bei Milchkühen, siehe Beitrag auf Seite 86	Verbesserung der Haltungsbedingungen der Milchkühe (Milchproduktionssteigerung)	GEORG 2007a, b, BLUMBERG 2011



Abb. 4: Sumpfpflanzendach der Firma Possmann in Frankfurt 2018 (Foto: A. Zehnsdorf).

Tab. 2: Patente und Gebrauchsmuster zu Sumpfpflanzendächern (Patentrecherche mit „Orbit Intelligence – Questel“, Stand 19.02.2019)

Patentnummer	Titel	Antragsteller	Anmeldedatum	Status
CN108640290 (A)	Roof wetland structure applicable to southern China	Univ. of Electronic Science and Technology of China, Zhongshan Institut	20.07.2018	im Prüfverfahren, Veröffentlichung 12.10.2018
US2017113956 (A1); US9884780 (B2)	Wetland roof technology for treating domestic wastewater	Bui Thanh Xuan [VN]; Ton Duc Thang Univ.	21.10.2015	Erteilung USA 06.02.2019
CZ20150423 (A3)	A roof wetland purifier	Liko-S A S [CZ]	13.06.2015	im Prüfverfahren Veröffentlichung 25.01.2017
CN204588825 (U)	<u>Constructed wetland device for roof</u>	Duan Lipeng	26.03.2015	Veröffentlichung 11.03.2015
CN204198545 (U)	Roof landscape wetland device capable of purifying and recycling sewage	Li Yingjun	25.07.2014	Veröffentlichung 11.08.2015
CN202391027 (U)	Roof wetland system	Dehua Ecological Technology Company LTD	24.11.2011	Veröffentlichung 22.08.2012
US2008245714 (A1)	Plant-Based Sewage Treatment System for Purifying Wastewater	Deere & Company	07.05.2004	Erteilung EP 14.01.2015 Patentblatt 2015/03 US 2010-07-13
GB2375761 (A)(B)	Green roof water recycling system - GROW	Christopher Jon Shirley-Smith	07.04.2001	Erteilung 23.06.2004
DE19630830 C2	Dachbegrünung und Verfahren zur Herstellung	Heinrich Dernbach, Mühlheim	31.07.1996	Erteilung 07.03.2002 Abgelaufen 08 / 2016



Abb. 5: Milchviehstall der FAL mit Sumpfpflanzendach im Jahr 2006 (Foto: M. Blumberg).

(BLUMBERG 2011). Erste Untersuchungen dazu wurden unter Praxisbedingungen an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) bereits 2006 durchgeführt (Abb. 5). Ziel war es, eine Lösung zu finden, um einen Milchviehstall energieneutral zu kühlen und insbesondere sommerliche Temperaturspitzen zu vermeiden (GEORG 2007a, b). Durch die Installation eines Sumpfpflanzendaches auf einem Milchviehstall konnte die Hitzebelastung im Vergleich zu einem nicht begrüntem Stallgebäude gleicher Bauart um 5 K reduziert werden (vgl. Georg, ab S. 86 in diesem Heft).

Urbanes Mikroklima

Über ihre direkte Wirkung auf verschiedenartige Gebäude hinaus, tragen Sumpfpflanzendächer durch ihren Beitrag zur

Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und die damit verbundene regionale Senkung der Lufttemperatur im dichten urbanen Raum zur Verbesserung des urbanen Mikroklimas und zur Verringerung des „Hitzeinsel-Effekts“ bei (THON et al. 2010).

Besonders relevant kann in diesem Kontext auch die Kombination von Gründächern (speziell Sumpfpflanzendächern) und

künstlichen Feuchtgebieten wie Schwimmteichen sein (vgl. Kircher, ab S. 67 in diesem Heft).

Die Effekte der räumlichen Nähe der beiden Öko-Technologien „Gründach“ und „von Menschen angelegtes Feuchtgebiet“ und die sich daraus möglicherweise ergebenden Wechselwirkungen, insbesondere bezüglich des urbanen Mikroklimas und der Biodiversität (vgl. Hanuss, S. 29 in diesem Heft) (Abb. 6), sind allerdings bisher weitgehend unerforscht. Durch die gezielte Kombination beider Öko-Technologien



Abb. 6: Sumpfpflanzen wie der Blutweiderich eignen sich auch als Nektarspender (Foto: A. Zehnsdorf)

und ihre Verbreitung in städtischen Gebieten könnten zukünftig deutlich positivere Auswirkungen im Vergleich zum sporadischen, isolierten Einsatz von Gründächern und Feuchtgebieten erzielt werden.

Ausblick

Wenn Wasser in ausreichendem Maße vorhanden ist und durch Verdunstung vor Ort beseitigt werden soll sind Sumpfpflanzendächer eine aussichtsreiche Option unter den Öko-Technologien. Dazu bewirken derartige Dächer vielfältige positive Effekte, wie beispielsweise die regionale Verbesserung des Gebäude- und Mikroklimas und die Steigerung der Biodiversität im urbanen Raum. Trotz des zunehmenden internationalen

Interesses an Sumpfpflanzendächern, gibt es noch eine ganze Reihe offener Fragen. Mögen die vorgestellten Beispiele dazu beitragen, den Einen oder Anderen zur näheren Beschäftigung mit Sumpfpflanzendächern anzuregen.

KONTAKT

Helmholtz-Zentrum für
Umweltforschung - UFZ
Prof. Dr. Andreas Zehnsdorf
Telefon: +49 (0)341 235 1850
E-Mail: andreas.zehnsdorf@ufz.de



LITERATUR

- Blumberg, M. (2011): Sumpfpflanzendächer als Variante der Dachbegrünung. In: Ziegler, C. (ed.) Regenwasserbewirtschaftung - GWF Praxiswissen, 1. Deutscher Industrieverlag, München, S. 189-196.
- Georg, H. (2007a): Dachbegrünung gegen den Sommer-Hitzestress von Milchkühen. Landtechnik, 5, S. 346-347.
- Georg, H. (2007b): Verminderung der Hitzebelastung in einem Milchviehstall durch ein Sumpfpflanzendach. 8. Tagung Bau, Technik und Umwelt in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung. 8.-10. Oktober 2007 in Bonn, S. 423-427.
- Gotta, F. (2012): Der „Pössmann“ in Frankfurt – Eine erzählte Unternehmensgeschichte. Verlag Sellner Pod-print.
- Ludwig, K.H.C. (1994): Apfelwein und Regenwasser. Garten + Landschaft, 10, S. 37.
- Ramprasad, C.; Shirley-Smith, C.; Memon, F. A.; Philip, L. (2017): Removal of chemical and microbial contaminants from greywater using a novel constructed wetland: GROW. Ecological Engineering, 106, S. 55-65.
- Seitz, P. (1993): Wasserreinigen mit Repositionspflanzen. Gärtenbörse + Gartenwelt, 93 (40), S. 1895-1899.
- Simantke, E. (2010): Abwasserentsorgung - Öko-Dach klärt Wasser ohne Chemie. Handelsblatt 24.02.2010, <https://www.handelsblatt.com/technik/energie-umwelt/abwasserentsorgung-oeko-dach-klart-wasser-ohne-chemie/3376706-all.html>, aufgerufen 14.01.2019.
- Song, U.; Kim, E.; Bang, J. H.; Son, D. J.; Waldmann, B.; Lee, E. J. (2013): Wetlands are an effective green roof system. Building and Environment, 66, S. 141-147.
- Steininger, T. (2015): Unser Gründach mit Pflanzenkläranlage. <https://experimentelbstversorgung.net/unser-gruendach-mit-pflanzenklaeranlage/>, aufgerufen 14.01.2019.
- Stock, N. (2015): Aufbau und Inbetriebnahme eines energieautarken Sumpfpflanzendaches zur Grauwasserreinigung. HTWK Leipzig, Bachelorarbeit.
- Thanh, B. X. (2017): Wetland Roof Technology for Treating Domestic Wastewater. Patent: US 2017113956 A1.
- Thanh, B. X.; Van, P. T. H.; Tin, N. T.; Hien, V. T. D.; Dan, N. P.; Kooatatep, T. (2014): Performance of wetland roof with *Melampodium paludosum* treating septic tank effluent. Desalination and Water Treatment, 52, S. 1070-1076.
- Thanh, B. X.; Hien, V. T. D.; Dan, N. P.; Van, P. T. H.; Tin, N. T. (2012): Performance of Wetland Roof Treating Domestic Wastewater in the Tropic Urban Area. Journal of Water Sustainability, 2 (1), S. 79-86.
- Thon, A.; Kircher, W.; Thon, I. (2010): Constructed Wetlands on Roofs as a Module of Sanitary Environmental Engineering to Improve Urban Climate and Benefit of the On Site Thermal Effects. Miestu zeldynu formavimas, 1 (7), S. 191-196.
- Thon, A. (2009): Shallow Constructed Roof Wetlands for Greywater Treatment – Intermittently Flushed wetlands as Roof Gardens in Mediteranien Countries. Hochschule Anhalt, Bernburg, Master Thesis.
- Van, P. T. H.; Tin, N. T.; Hien, V. T. D.; Quan, T. M.; Thanh, B. X.; Hang, V. T.; Tuc, D. Q.; Dan, N. P.; Khoa, L. V.; Phu, V. L.; Son, N. T.; Luong, N. D.; Kwon, E.; Park, C.; Jung, J.; Yoon, I.; Lee, S. (2015): Nutrient removal by different plants in wetland roof systems treating domestic wastewater. Desalination and Water Treatment, 54, S. 1344-1352.
- Vo, T. D. H.; Do, T. B. N.; Bui, X. T.; Nguyen, V. T.; Nguyen, D. D.; Sthiannopkao, S.; Lin, C. (2017): Improvement of septic tank effluent and green coverage by shallow bed wetland roof system. International Biodeterioration & Biodegradation, 124, S. 138-145.
- Vo, T. D. H.; Bui, X. T.; Nguyen, D. D.; Nguyen, V. T.; Ngo, H. H.; Guo, W.; Nguyen, P. D.; Nguyen, C. N.; Lin, C. (2018): Wastewater treatment and biomass growth of eight plants for shallow bed wetland roofs. Bioresource Technology, 247, S. 992-998.
- Wanke, S. (2015): Ecological Treatment of Waste Waters Using Wetland Roofs - Analysing the Cleaning Capacity and Efficiency of Constructed Wetland Roofs. HZ University of Applied Sciences, Vliissingen, The Netherlands, Bachelor Thesis.
- Zapater-Pereyra, M.; Lavrinc, S.; Van Dien, F.; Van Bruggen, J. J. A.; Lens, P. N. L. (2016): Constructed wetroofs: A novel approach for the treatment and reuse of domestic wastewater. Ecological Engineering, 94, S. 545-554.
- Zapater-Pereyra, M. (2015): Design and development of two novel constructed wetlands: The Duplex-constructed wetland and the Constructed wetroof. Wageningen University, PhD thesis.
- Zapater-Pereyra, M.; Van Dien, F.; Van Bruggen, J. J. A.; Lens, P. N. L. (2013): Material selection for a constructed wetroof receiving pretreated high strength domestic wastewater. Water Science and Technology, 68 (10), S. 2264-2270.
- Zehnsdorf, A.; Blumberg, M.; Müller, R. A. (2019): Helophyte mats (wetland roofs) with high evapotranspiration rates as a tool for decentralised rainwater management – process stability improved by simultaneous greywater treatment. Water Science and Technology: Water Supply, 18 (6), in press.
- Zehnsdorf, A. (2018): Verdunstungsintensive Gründächer für das Regenwassermanagement - Sumpfpflanzen zur Dachbegrünung. GebäudeGrün, 2/2018, S. 19-22.
- Zehnsdorf, A.; Stock, N.; Richter, J.; Blumberg, M.; Müller, R. A. (2016): Grauwasserreinigung mit einer Sumpfpflanzenmatte unter Praxisbedingungen. Chemie Ingenieur Technik, 88 (8), S. 1138-1144.
- Ziem, K. (2010): Pflanzenkläranlage mit Köpfchen. SHB-Absolvent entwickelt umweltfreundliche Abwasserentsorgungsanlage. Transfer – Das Steinbeis Magazin, 2/2010, S. 8-9.
- Ziepkke, S. (1992): Ein Pflanzendach zur Wasserkühlung. Landschaftsarchitektur, 6, S. 18-20.

Dachwiese für Kühlwasser



Sumpfgewächse wachsen als biologisches Kühlsystem auf dem Dach einer Halle der Frankfurter Familienkellerei Possmann. Sie schützen die Dachhaut und halten das Kühlwasser auf niedrigen Temperaturen. Und zudem sparen sie jährlich tausende Euro.

Konstantin Kalveram, Martin Henke (Kellerei Possmann)

Flachdächer findet man überall. Aber der einzige, der daran wirklich Freude hat, ist der Dachdecker. UV-Strahlen verspröden das Material, und Temperaturunterschiede von bis zu 70 °C führen bald zu undichten Stellen. Bei einer kleinen Garage mag das kein so gravierendes Problem sein. Aber bei einer großen Industriehalle auf Trapezblechen, womöglich noch mit Lichtkuppeln, treten große Spannungen auf. Die Folge: Aufgrund der Spannungen reißt die Dachpappe kreuz und quer. Flicker hilft dann nicht mehr, es muss über die ganze Fläche eine neue Lage Dachpappe aufgeklebt werden. Und dann geht das Spiel von vorne los ...

Ökologisches Kühlsystem

Als der damalige Chef der Frankfurter Apfelweinkelerei, Werner Volkmar Possmann, sich Anfang der 1990er-Jahre entschloss, auf dem Dach nicht einfach Dachpappe zu verlegen, hatte er allerdings auch noch einen zweiten Grund: Er wollte ein ökologisches Kühlsystem für die im Keller lagernden Millionen Liter Apfelwein schaffen. Bis dahin war das Hallendach, wie so viele andere Industriedächer auch, mit Bitumen abgedichtet und mit Kies abgedeckt. Hohe Temperaturunterschiede vom Hochsommer bis zu Frostnächten im Winter setzten der Haut des Daches über die Jahre stark zu. Im Sommer versank der Kies, der als Schutz oben auf liegen sollte, in der durch starke Sonneneinstrahlung warm und weich gewordenen Teerpappe, das Dach wurde schließlich undicht. Die erste Sanierung fiel bereits innerhalb der ersten zehn Jahre an. Für das Hallendach der Kelterei sollte also ein haltbarer Schutz gegen UV-Strahlung her – und was, dachte sich der damalige Keltereichef, gibt es hierfür besseres als Pflanzen? Selbst eine dünne Substratschicht auf dem Dach mit einer Vegetation aus Fetthenne und Moosen kann dabei schon viel bewirken. Nicht nur, dass diese dünne Pflanzendecke die Dachhaut vor direkter Sonneneinstrahlung schützt und damit die Aufheizung im Sommer und die teils hohen Temperaturunterschiede verringert; Pflanzen, und seien sie auch noch so klein, verdunsten auch Feuchtigkeit und verstärken so den ausgleichenden Effekt.



Abb. 1: Diese Gründachbepflanzung kommt gut mit Trockenheit zurecht. (Foto: A. Zehnsdorf).

Allerdings nimmt dieser Effekt mit der Fülle der Vegetation zu. Und diese wiederum hängt von der Dicke der Substratschicht ab. Ein mit Sedum, Sempervivum und anderen trockenheitsverträglichen Stauden begrüntes Dach verlangt schon eine Substratschicht von sieben bis zwölf Zentimetern Dicke (Abb. 1). Ein Grasdach braucht sogar 15 Zentimeter. Hinzu kommt eine Dränageschicht, die für den Abzug des überschüssigen Wassers sorgt, was auf einem Flachdach besonders wichtig ist, denn Staunässe können auf Dauer selbst die robustesten Dachstauden nicht vertragen. Die einzelnen Schichten müssen mehrfach durch spezielle Schutzmatte geschützt oder voneinander getrennt werden: ein Vlies schützt die Dachhaut vor dem Blähton der Dränageschicht. Diese wird wiederum mit einem Filtervlies abgedeckt, damit

KONTAKT

Kelterei Possmann GmbH & Co.KG
 Eschborner Landstraße 156-162, 60489 Frankfurt am Main
 Konstantin Kalveram (Marketing & Öffentlichkeitsarbeit)
 E-Mail: Kalveram@possmann.de

keine Erde in den Blähton gespült wird und den Wasserabzug hemmt. Eine aufwendige Geschichte, die bei einem derart großen Projekt nur von einer Fachfirma durchgeführt werden kann. Trotzdem ist ein solches Gründach nicht immer grün. Im Sommer wird das Gras regelmäßig braun. Das muss nicht schädlich sein, denn Gras wächst nach. Aber auch die Vielfalt der Trockenvegetation auf dem Dach kann mit der Zeit nachlassen. Trotzdem haben diese Dächer in der städtischen Landschaft eine große Bedeutung und sind allemal besser als die hitzeabstrahlenden und anfälligen Bitumendächer. Auch wenn diese Kosten zunächst die eines herkömmlichen Teerpappedaches beträchtlich übersteigen, so können sich selbst diese Ausgaben lohnen, denn die Haltbarkeit der Dächer wird um Jahrzehnte verlängert.

Verdunstungskälte nutzen

Für die Apfelweinkelterei Possmann wäre ein solches Dach allerdings keine befriedigende Lösung gewesen, denn die erforderliche Verstärkung der Statik hätte Kosten verursacht, die in keinem Verhältnis zum Nutzen des Daches stehen. Die Lösung, die Possmann für das Hallendach während mehrerer Jahre entwickelte, war einfacher, günstiger – und dabei wesentlich wirksamer: zwei Lagen Dachpappe, die untere mit Kupfereinlage, sowie eine Wurzelschutzbahn aus Kunststoff. Auf das sonst übliche Substrat, auf das man bei Dachbegrünungen zurückgreift, wurde verzichtet. Ersetzt wurde es durch eine poröse, sechs Millimeter dicke Matte aus Gummigranulat, einem Abfallstoff aus recycelten Autoreifen. Im Laufe der Entwicklung stellte sich auch heraus, dass es ohne regelmäßige Wasserzufuhr nicht gehen würde, weswegen eine Bewässerung vorgesehen werden musste (Abb. 2). Am sinnvollsten durch Regenwasser; Schonung der Ressourcen und der Umwelt war schon damals eine der wirtschaftlichen Grundlagen bei Possmann. Also brauchte man einen Regenwassertank inklusive Pumpe und Schaltuhr. Da die Kosten den ursprünglichen Rahmen weit überstiegen, lag es nahe, einen zusätzlichen Nutzeffekt aus der Dachbegrünung zu ziehen.



Abb. 2: Bewässertes Sumpfpflanzendach mit üppiger Vegetation. (Foto: Possmann).

Die Pflanzen auf dem Gründach schützen die Haut des Daches nicht nur vor UV-Strahlen, sie verdunsten zudem Wasser, wobei ja Verdunstungskälte entsteht. Warum sollte man diese Verdunstungskälte nicht für die Kühlung der Apfelweinkeller einsetzen anstelle der Kühltürme, die bis dahin Verwendung fanden? Im Erfolgsfall könnten vier Kühltürme inklusive ihrem Wasser- und Stromverbrauch eingespart werden. Zudem entfielen die Behandlung des Wassers gegen Algen sowie Maßnahmen zu dessen Enthärtung.

Ein neuer Kreislauf entsteht

So ergibt sich folgender Kreislauf: Das Regenwasser läuft über ein Sieb in den Regenwassertank mit 200.000 Litern Inhalt. Über eine Pumpe wird das Wasser zur Kühlanlage gefördert. Durch die Abwärme der Kühlanlage erwärmt sich das Regenwasser auf 30 °C oder mehr, wobei bis zu 120 m³/h umgewälzt werden. Das erwärmte Wasser wird auf der oberen Längsseite des Daches gleichmäßig verteilt (Abb. 3) und läuft mit einem Gefälle von 2 % über die Pflanzenwurzeln zu den Abläufen. Im November 1991 wurde mit der Besiedlung der Dachfläche begonnen. Anstatt schweren Kieses oder Erde wurden auf 3.000 m² eine Wurzelschutzbahn und die Bautenschutzmatte aus recycelten Autoreifen aufgelegt.



Abb. 3: Gleichmäßige Verteilung des zu kühlenden Wassers am Zulauf des Sumpfpflanzendaches. (Foto: Possmann).

Seggenried auf dem Dach

Vorausgehende Versuche haben gezeigt, dass die Recyclingmatte recht schnell durchwurzelt wird und mit den Pflanzen einen festen Teppich bildet. Zum besseren Erhalt der Feuchtigkeit und um zu verhindern, dass die Matte mitsamt den Pflanzen von einem Windstoß verweht werden kann, wurde zusätzlich eine Schicht Blumenerde von 1 cm

Dicke aufgebracht. Ursprünglich war vorgesehen, das Dach mit Binsen zu bepflanzen, die ja als wasserliebende Pflanzen bekannt sind und zudem weniger Gewicht mitbringen als beispielsweise Schilf. So wurden schwere Erdklumpen auf dem Dach verteilt und Binsen gepflanzt (Abb. 4). Dann kam der Winter, in dem nicht bewässert wurde – und was das Ende der Binsen war. Deswegen wurde im April 1992 die restliche Dachfläche



Abb. 4: Aufbau und Bepflanzung des Sumpfpflanzendaches. (Foto: Possmann).

Technische Daten des Seggenrieddaches

- **Fläche:** 3.000 m²
- **Wurzelsubstrat:** Matten aus Gummigranulat (Reifenrecycling) mit 6 mm Stärke auf normaler Dachfolie
- **Pflanzen:** Logatainerpflanzen, hauptsächlich Carex, 6 Stück/m²
- **Zusätzliche Dachauflast:** max. 6 x 200 g = 1.200 g/m²
- **Gefälle:** 2 %
- **Verrieselte Wassermenge:** 120.000 L/h
- **Pflanzverfahren:** Photolyse-Verfahren (auf dem Substrat flach aufgelegte Logatainerpflanzen)

mit Flachkeilbalken bestückt, Verwendung fand hauptsächlich die Sumpfschilf *Carex acutiformis*. Damit die Pflanzen andauernd mit ausreichend Wasser versorgt werden können, wurden Düsen auf der höheren Seite des Daches angebracht, die das Wasser gleichmäßig verteilen. Erstaunlicherweise vertrugen die Sumpfschilf die Dauerberieselung nicht, was bei den Sumpfpflanzen eigentlich vorausgesetzt wurde. Also mussten die Düsen wieder ausgebaut werden und das Wasser durch Verlegen der Zuleitung schonend in Wurzelhöhe zugeführt werden. Auf der höheren Seite, auf der sich das Wasser nicht so schnell abkühlt, sind die Pflanzen im Wuchs deutlich höher und kräftiger. Sämlinge, etwa von Pappeln oder Weiden, müssen durch Jäten entfernt werden. Im Lauf der



Abb. 5: Werner-Volkmann Possmann inmitten des vom ihm ersonnenen Biodaches. (Foto: Possmann).



Abb. 6: Peter Possmann, Firmenchef in 5. Generation auf dem größten und ältesten Sumpfpflanzendach in Deutschland. (Foto: Possmann).

Jahre ist aus dem Dach ein herrliches Seggenried geworden, mit vielen Blumen, die in zahlreichen Farben blühen (Abb. 5). Bienen, Hummeln, Wasserflöhe, Schnecken, Käfer sowie zahlreiche Vogelarten fühlen sich auf dem Gründach der Kelterei Possmann wohl, sogar ein Entenpärchen kommt dann und wann, um zu brüten. Auch nach mehr als 25 Jahren ist das Konzept des Gründaches immer noch erfolgreich. Durch die Dachbegrünung spart die Kelterei Possmann auf vielerlei Weise: Die eingesparten Kühltürme haben die Mehrkosten für die entsprechende Statik, die Bauschutzmatte und die Wurzelfolie abgedeckt. Die verbleibenden Aufwendungen für die Bepflanzung betragen rund 20.000 €. Die Einsparungen von Wasser und Energie belaufen sich seit der Umgestaltung des Daches auf umgerechnet etwa 5.000 € pro Jahr. Bereits nach vier Jahren hatten sich die Mehrkosten amortisiert.

Pflanzengesellschaft des Seggenrieddaches

<i>Alisma plantago aquatica</i>	(Froschlöffel)
<i>Caltha palustris</i>	(Sumpf-Dotterblume)
Carex (Seggen):	
<i>C. acutiformis</i>	(Sumpf-Segge)
<i>C. gracilis</i>	(Schlanke Segge)
<i>C. vulpina</i>	(Fuchs-Segge)
<i>C. paniculata</i>	(Rispen-Segge)
<i>C. pseudocyperus</i>	(Falsche Zyperngras-Segge)
<i>C. nigra</i>	(Wiesen-Segge)
<i>C. panicea</i>	(Hirse-Segge)
<i>Glechoma hederacea</i>	(Gundermann)
<i>Iris pseudacorus</i>	(Sumpf-Schwertlilie)
<i>Juncus effusus</i>	(Flatterbinse)
<i>Juncus inflexus</i>	(Graue Binse)
<i>Lythrum salicaria</i>	(Blutweiderich)
<i>Myosotis palustris</i>	(Sumpf-Vergissmeinnicht)
<i>Potentilla reptans</i>	(Kriechendes Fingerkraut)
<i>Potentilla anserina</i>	(Gänsefingerkraut)
<i>Ranunculus repens</i>	(Kriechender Hahnenfuß)
<i>Scirpus lacustris</i>	(Flecht-Simse)
<i>Scirpus silvaticus</i>	(Wald-Simse)



Industrielle Abwasserreinigung mit Sumpfpflanzen auf dem Dach

Der Landmaschinenhersteller John Deere im Werk Mannheim verwendet ein platzsparendes biologisches Verfahren zur Reinigung seiner industriellen Abwässer auf dem Dach.

Sarifahnurliza Sahehmahamad und Jörn Fries (John Deere Deutschland)

Der Landmaschinenhersteller John Deere produziert am Standort Mannheim Traktoren und betreibt eine Abwassereinigung mit Sumpfpflanzen auf einer Dachfläche von knapp 200 m². Die Anlage ist seit 2001 in Betrieb und wurde von Studenten und Mitarbeitern entworfen und gebaut. In dieser Anlage werden industrielle Abwässer aus der Farbgebungsvorbehandlung gereinigt. Heute wird die aktuelle Sumpfdach-

pflanzenanlage im John Deere Werk Mannheim (JDWM) offiziell JDW2TR (John Deere Wastewater Treatment on Roof) genannt. Diese Anlage gehört zu den hydroponischen Aquakultursystemen¹ mit acht verschiedenen Pflanzen ohne Bodenkörper. Zu diesen Pflanzen gehören Sumpf-Seggen (*Carex acutifonnis*), Sumpfschwertlilien (*Iris pseudacorus*), Rispen-Seggen (*Carex paniculata*), Blaugrüne Binse (*Juncus inflexus*), Ufer-Seggen (*Carex ri-*

¹ Ein hydroponisches Aquakultursystem ist ein System, bei dem ohne Bodenkörper mit eingehängten Rosten oder mit schwimmenden Teppichen bzw. Matten gearbeitet wird. Dort wird das Abwasser durch das frei schwebende Wurzelsystem und die Mikroorganismen gereinigt (KOZIANKA, 2004).



Abb. 1: Sumpfpflanzenkläranlage im John Deere Werk Mannheim; Fotografiert am 21.11.2018 (Fotos: John Deere).

paria), Schnabel-Seggen (*Carex rostrata*), Steife Seggen (*Carex elata*), und Schilfrohr (*Phragmites australis*), durch deren Wurzelwerke horizontal das Abwasser gereinigt wird. An der Wurzeloberfläche siedeln sich Mikroorganismen an und stellen den sich ständig regenerierenden Filter dar (GYSER, 2013). Als Besonderheit setzt die Anlage auch Schilfrohr (*Phragmites australis*) ein, das sehr gut zusätzlichen Sauerstoff ins Anlagensystem eintragen kann (REINDL, 2006).

Die Anlage befindet sich im Dauerbetrieb von Montag bis Freitag, 50 Wochen pro Jahr und verfügt über eine Reinigungsleistung von 10 m^3 pro Tag. Der zugehörige Industriebetrieb befindet sich an einem Standort in der Stadtmitte mit nur sehr geringen Nutzflächen auf dem Boden. Die Abwasseranlage wurde daher als freitragende Konstruktion in Holzständerbauweise auf dem Dach eines 100 Jahre alten Gebäudes errichtet (Abb. 1).

Aufbau der Sumpfpflanzenkläranlage im JDWM

Die aktuelle Sumpfdachpflanzenanlage im John Deere Werk Mannheim (JDWM) besteht aus Vorreinigungsbecken, Speicherbecken, Hauptreinigungsbecken, Verrieselungszone sowie weiteren Versuchsbecken (Abb. 2). Alle Becken, außer der Verrieselungszone, sind mit einer Teichfolie wasserdicht nach unten abgedichtet. Am Ende des Vorreinigungsbeckens befindet sich ein kleiner Sumpf mit etwa 30 cm Tiefe, in dem sich eine Pumpe befindet. Eine Besonderheit ist das Haupt-

reinigungsbecken, welches aus sieben identisch aufgeteilten Becken besteht. Die Begrenzung zwischen den Becken besteht aus Styropor und ist mit Folie abgedeckt. Die einzelnen Zonen sind über Durchläufe mit einem HT-Rohr verbunden, um eine möglichst lange Verweilzeit zu erzielen. Die Becken haben eine Wasserhöhe von höchstens 10 cm. Die Pflanzen stehen direkt ca. 5 cm tief im Wasser. Durch ihre Eigenschaften können sie richtig angeordnet einen wichtigen Teil zur Reinigung des Abwassers beitragen (Abb. 2).

Funktion des Wasserdurchflusses

Abbildung 3 zeigt den Weg des Abwassers bis zur Einleitung in die Kanalisation. Das Abwasser, etwa 10 m^3 pro Tag mit einer Temperatur von etwa $30 \text{ }^\circ\text{C}$, kommt aus der Vorbehandlung der Getriebe-Farbgebung und enthält Verunreinigungen wie z.B. Öle, Tenside, Fette und Reste des Phosphatiermittels (v. a. Natriumphosphat und Eisenphosphat) (REINDL, 2006). Von dem Produktionsgebäude wird das Wasser über eine Edelstahlpipeline direkt zum Zulaufbecken geleitet und gesammelt ①. In diesem Becken wird das Abwasser messtechnisch von drei Messsonden erfasst, die die wichtigsten Parameter pH-Wert (WTW SensoLyt® 700 IQ), Sauerstoffgehalt (WTW TriOxmatic® 700 IQ), Leitfähigkeit (WTW TetraCon® 700 IQ) und Temperatur im Wasser messen.

Vom Zulaufbecken wird anschließend das Abwasser in horizontaler Richtung durch ein Speicher-

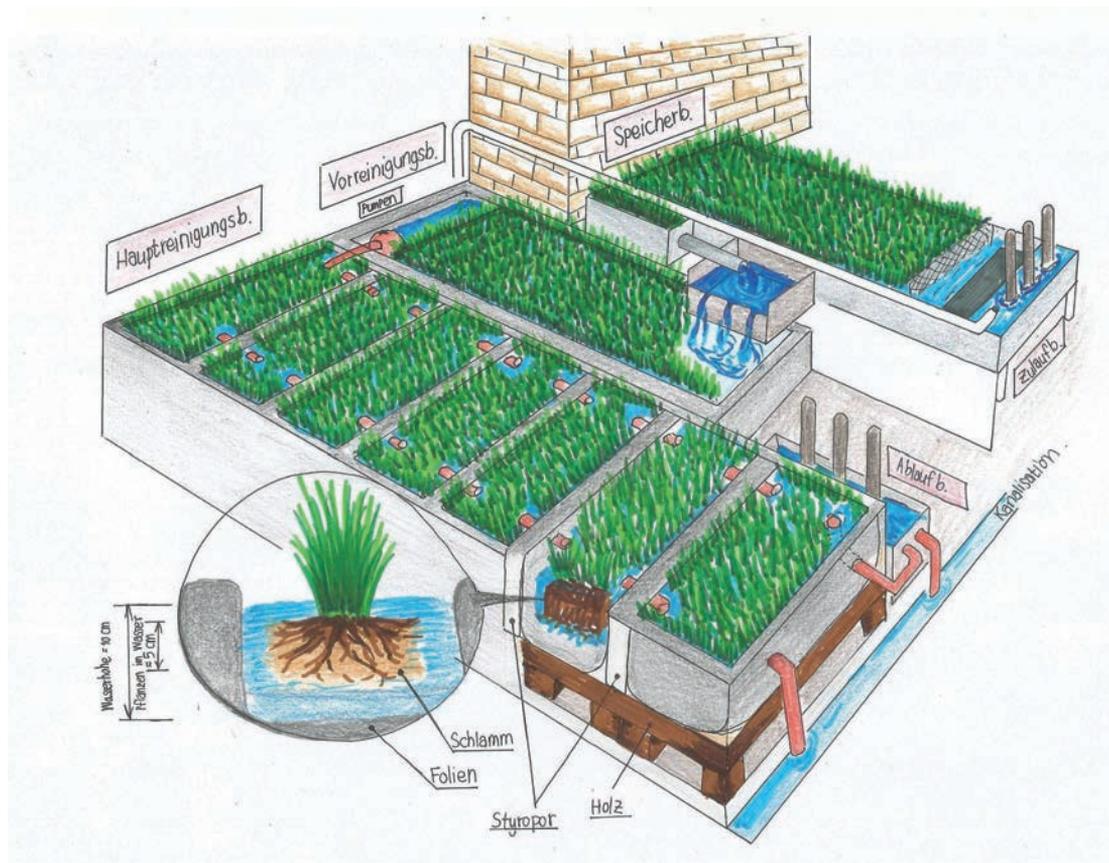


Abb. 2: Schnittzeichnung der Anlage (Quelle: John Deere).

becken ② geleitet, wo die erste Reinigungsstufe und ein erster Kontakt mit den Pflanzen stattfinden. Über ein Rohr und einen kleinen 40 cm tiefen Wasserfall ③, der eine weitere Sauerstoffanreicherung im System bewirkt, erreicht das Abwasser das Vorreinigungsbecken ④. Am Ende dieses Vorreinigungsbeckens ⑤ befindet sich eine Tauchpumpe, um einen hohen Wasserstand (Überflutungsgefahr) zu vermeiden. Dort wird das Abwasser in das Hauptreinigungsbecken ⑥ gepumpt, wo die wichtigsten Abbauprozesse stattfinden. Das Abwasser fließt langsam vom ersten bis zum siebten Becken des Hauptreinigungsbeckens. Am Ende des Beckens wird das Abwasser durch einen Abfluss im Ablaufbecken ⑦ geleitet, wo erneut direkt vor Ort kontinuierlich durch die stationären Messsonden die oben genannten Parameter aufgenommen werden, um die Wasserqualität nach der Reinigung durch die DPKA² überprüfen zu können. Diese können über das Bedienpanel des WTW IQ Sensor NET 2020 Systems oder durch Übertragung der gemessenen Rohdaten auf einem PC mit einem Modem ausgelesen werden. Im Anschluss wird das Wasser der Kanalisation zugeführt.

Zur Bestimmung der Verweilzeit des Abwassers in der Anlage wurde Uranin als Tracersubstanz eingesetzt, das sich bei Abwasseruntersuchungen bewährt hat. Die Verweilzeit des Abwassers wurde nach der Zugabe der Uranin-Lösung im Zulaufbecken bis zur komplett erreichten deutlichen Färbung des siebten Hauptreinigungsbeckens gemessen. Die mittlere Verweilzeit wurde bei Messungen im Jahr 2008 auf 454,21 Minuten bzw. 7,57 Stunden bestimmt. Die mittlere hydrodynamische Verweilzeit beträgt 442,4 Minuten bzw. 7,37 Stunden (SIMPER, 2018).

Auswertung der analytischen Parameter

Nach dem Phosphatier-Prozess in der Farbgebung zur Grundreinigung und Phosphatierung der Getriebe muss der Phosphatwert durch die Anlage wieder reduziert werden, um die vorgegebenen Einleitparameter der Stadt Mannheim zu erfüllen.³

Um die Einhaltung dieser Parameter zu überprüfen werden monatlich Abwasserproben im Zulaufbecken und Ablaufbecken mit jeweils 1 Li-

² DPKA ist Dachpflanzenkläranlage

³ Quelle: <https://www.mannheim.de/sites/default/files/page/2854/s07-07.pdf>

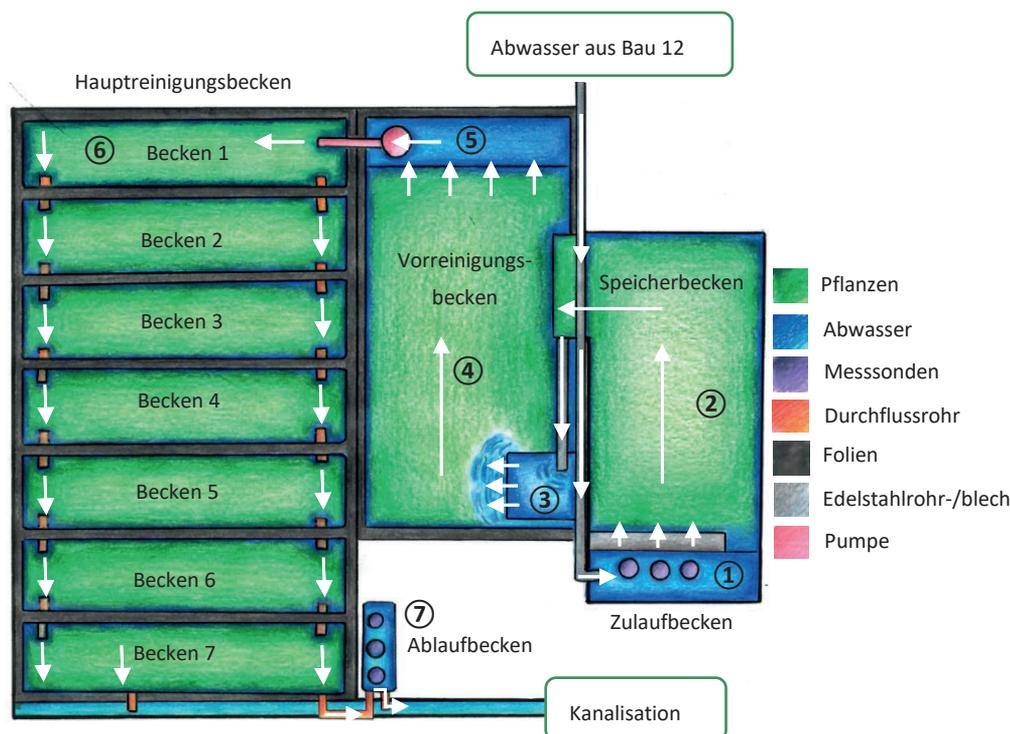


Abb. 3: Fließrichtung des Abwassers an der Sumpfpflanzenkläranlage (Quelle: John Deere).

ter Probenahmemenge entnommen und in einem externen Labor kontrolliert sowie analysiert, um die Reinigungsleistung der DPKA und Einhaltung der Grenzwerte bei den Parametern pH-Wert, Leitfähigkeit, absetzbare Stoffe⁴, BSB₅⁵, CSB⁶, TOC⁷, NH₄-N (Ammoniumstickstoff), NO₃⁻ (Nitrat), N_{ges} (Gesamter Stickstoffgehalt) und P_{ges} (Gesamter Phosphatgehalt) zu überprüfen. Die erhaltenen Messwerte werden im Anschluss überprüft. Bei Bedarf werden Maßnahmen eingeleitet, falls einzelne Werte nicht mehr im Grenzbereich liegen.

Tabelle 1 zeigt, dass die DPKA gut funktioniert. Die gemessenen Parameter liegen deutlich unterhalb der vorgegebenen Grenzwerte. Als problematisch stellte sich in der Vergangenheit die Einhaltung des Phosphatwertes dar. Der Wert wird zwar durchweg am Übergabepunkt zur städtischen Kanalisation eingehalten, direkt am Ausgang der

DPKA ließen sich jedoch Überschreitungen des Parameters P_{ges} feststellen (Abb. 4). Durch Schneiden der Pflanzen und regelmäßige Entfernung der stark verschmutzten, öligen Pflanzenwurzeln im Speicherbecken konnte der Phosphatgehalt deutlich reduziert werden. Monate später zeigte sich jedoch meist wieder eine Erhöhung des Phosphatgehaltes. Die Gründe dafür können darin liegen, dass das verschmutzte Abwasser bei öligen und gesättigten Pflanzenwurzeln, die dicht aneinander liegen, die Filterleistung im Becken reduziert. Je dichter die Pflanzen in der Anlage liegen, desto weniger werden die Nährstoffe, beispielsweise Phosphat, durch das Pflanzen- und Wurzelwachstum gebunden. Durch Rückschnitt der Wasserpflanzen und Reinigung der Becken können diese Nährstoffe wieder aus dem System entfernt werden. Die Pflanzen werden daher regelmäßig, das heißt mindestens zweimal pro Jahr, zurückge-

⁴ Die absetzbaren Stoffe müssen bei biologischen Anlagen ebenfalls kontrolliert werden. Dieser Parameter sagt aus, ob sich größere Verunreinigungen oder Partikel im gereinigten Abwasser befinden.

⁵ BSB₅ = Biochemischer Sauerstoffbedarf nach fünf Tagen. Dieser Wert gibt an, wie viel gelöster Sauerstoff in einer bestimmten Zeit für den biologischen Abbau der organischen Wasserinhaltsstoffe benötigt wird. Für gute Abbaubarkeit ist der BSB-Wert geringer als der CSB-Wert.

⁶ CSB = Chemischer Sauerstoffbedarf. Er gibt an, wie viel Sauerstoff benötigt wird, um alle im Wasser vorhandenen organischen Stoffe zu oxidieren.

⁷ TOC = Gesamter organischer gebundener Kohlenstoff (Total Organic Carbon). Dies ist ein Maß für die in einer Wasserprobe enthaltenen organischen Kohlenstoffverbindungen.

Tabelle 1: Messwerte der Abwasserproben von Jahr 2017 bis 2019 durch Kontrollen eines externen Laborbetriebes

Datum	pH [-]			Leitfähigkeit [mS/cm]		Absetzbare Stoffe [mL/L]			BSB ₅ [mg/L]	
	Zulauf	Ablauf	Grenzwert	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Grenzwert	Zulauf	Ablauf
30.01.2017	7,1	6,9	6,0 - 9,5	397	407	<0,1	<0,1	1	9	7
27.02.2017	7,2	6,7	6,0 - 9,5	510	419	<0,1	<0,1	1	12	8
29.03.2017	7,3	6,7	6,0 - 9,5	547	714	<0,1	<0,1	1	24	16
26.04.2017	7,0	6,5	6,0 - 9,5	1107	1335	<0,1	<0,1	1	38	12
31.05.2017	6,8	6,5	6,0 - 9,5	979	1919	<0,1	<0,1	1	16	30
28.06.2017	8,3	6,7	6,0 - 9,5	1540	1319	0,1	0,1	1	10	20
28.07.2017	6,9	9,7	6,0 - 9,5	840	1232	<0,1	<0,1	1	10	8
31.08.2017	7,1	6,3	6,0 - 9,5	930	950	<0,1	<0,1	1	12	14
27.09.2017	7,3	6,4	6,0 - 9,5	558	1031	<0,1	<0,1	1	4	6
26.10.2017	7,2	6,6	6,0 - 9,5	724	747	<0,1	0,2	1	10	8
29.11.2017	6,6	6,6	6,0 - 9,5	1104	1040	<0,1	<0,1	1	24	16
14.12.2017	6,8	6,9	6,0 - 9,5	769	829	<0,1	<0,1	1	12	10
31.01.2018	6,8	6,6	6,0 - 9,5	675	776	<0,1	<0,1	1	16	16
28.03.2018	7,1	6,9	6,0 - 9,5	535	601	<0,1	<0,1	1	8	12
26.04.2018	7,4	6,5	6,0 - 9,5	491	1175	<0,1	<0,1	1	10	46
30.05.2018	7,0	6,7	6,0 - 9,5	605	890	<0,1	<0,1	1	22	24
27.06.2018	7,1	6,4	6,0 - 9,5	1148	1070	<0,1	<0,1	1	-	-
28.08.2018	7,0	6,7	6,0 - 9,5	1389	1446	<0,1	<0,1	1	40	18
27.09.2018	6,9	6,3	6,0 - 9,5	380	1038	<0,1	<0,1	1	16	6
30.10.2018	6,6	6,4	6,0 - 9,5	785	791	<0,1	<0,1	1	24	16
26.11.2018	6,5	6,5	6,0 - 9,5	322	418	<0,1	<0,1	1	20	16
05.12.2018	6,9	6,6	6,0 - 9,5	1150	931	<0,1	<0,1	1	50	30

schnitten und die Becken bei Bedarf mechanisch gereinigt. Zusätzlich wurde ein Bandfilter im Bereich der Farbgebungsanlage installiert, um grobe Verunreinigungen und Schadstoffe bereits vor Einleitung in die DPKA zu entfernen.

Anlagenentwicklungsgeschichte

Bei dem Projekt wurde John Deere durch Studenten unterschiedlicher Fachrichtungen, wie zum Beispiel Biologie, Chemie, Verfahrenstechnik im

Rahmen von Praktika und Abschlussarbeiten unterstützt. Eine erste Versuchsanlage wurde im Jahr 2001 auf 2 m² Fläche errichtet und dann über die nächsten Jahre kontinuierlich weiterentwickelt, bis zu einer Gesamtnutzfläche von zirka 166 m². Bei der Weiterentwicklung wurden die Pflanzenarten, die Pflanzenanzahl, deren Anordnung in den Becken und der Reinigungsprozess optimiert. Im Jahr 2002 erfolgte ein Versuch zur Bestimmung der Mikroorganismenaktivität an den Wurzeln der Pflanzen.

Datum	CSB [mg/L]		TOC [mg/L]			NH ₄ -N [mg/L]			Nges [mg/L]		
	Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf	Grenzwert	Zulauf	Ablauf	Grenzwert	Zulauf	Ablauf	Grenzwert
30.01.2017	29	30	96	98	240	<0,5	<0,5	200	1,2	1,2	45
27.02.2017	18	20	176	138	240	<0,5	<0,5	200	0,7	1,1	45
29.03.2017	36	25	197	135	240	1,4	4,5	200	2,2	5,7	45
26.04.2017	177	64	133	95	240	<0,5	<0,5	200	1,2	2,8	45
31.05.2017	19	82	495	763	240	<0,5	<0,5	200	1,4	2,7	45
28.06.2017	21	38	113	134	240	<0,5	<0,5	200	1,0	9,0	45
28.07.2017	38	37	69	72	240	<0,5	<0,5	200	0,7	0,7	45
31.08.2017	51	81	59	102	240	<0,5	<0,5	200	1,5	0,9	45
27.09.2017	76	34	79	81	240	<0,5	<0,5	200	1,3	4,4	45
26.10.2017	<25	<25	112	89	240	<0,5	<0,5	200	<0,5	<0,5	45
29.11.2017	74	57	105	172	240	<0,5	<0,5	200	1,6	0,9	45
14.12.2017	54	53	58	74	240	<0,5	<0,5	200	1,1	0,6	45
31.01.2018	30	82	76	239	240	<0,5	<0,5	200	1,8	0,6	45
28.03.2018	<25	<25	111	77	240	<0,5	<0,5	200	1,1	0,7	45
26.04.2018	<25	67	76	153	240	<0,5	<0,5	200	<0,5	3,1	45
30.05.2018	80	59	83	79	240	<0,5	<0,5	200	1,8	1,5	45
27.06.2018	51	53	102	127	240	<0,5	<0,5	200	0,1	0,2	45
28.08.2018	211	150	127	230	240	<0,5	<0,5	200	3,5	2,3	45
27.09.2018	50	37	84	72	240	<0,5	<0,5	200	2,8	1,7	45
30.10.2018	15	14	93	91	240	<0,5	<0,5	200	1,7	1,7	45
26.11.2018	70	62	75	72	240	<0,5	<0,5	200	1,9	1,6	45
05.12.2018	220	160	130	210	240	<0,5	<0,5	200	3,7	2,6	45

Die Anlage wurde im Jahr 2003 für die Reinigung von industriellem Abwasser behördlich genehmigt sowie Versuche zur maximalen Aufnahme von Schwermetallen und zur Reaktion der Pflanzen auf die Schwermetalle durchgeführt.

In 2004 wurde erstmals die jahreszeitliche Abhängigkeit der Verminderung von Inhaltsstoffen mittels einer Dachpflanzenkläranlage ohne Bodenkörper in Korrelation zur Tag- und Nachtleistung untersucht.

2005 wurde ein Filter mit getrockneten Eisenspänen aufgebaut. Durch diesen Filter konnte die Phosphatkonzentration im Rahmen einer Nachreinigung gesenkt werden. Der Filter wurde jedoch später aufgrund des hohen manuellen Aufwandes wieder entfernt. Im gleichen Jahr wurde an der Anlage auch getestet, ob Spülwasser einer Dusche und Toilettenabwasser sowie Ergänzungswasser der Farbspritzkabine gereinigt werden können. Diese Versuche, genauso wie der

Schwermetallentzug über die Pflanzen, führten zu positiven Ergebnissen, wurden jedoch nie in den Genehmigungszustand überführt, da am Standort kein konkreter Bedarf für die Reinigung solcher Abwässer bestand.

Wie bereits im Abschnitt „Auswertung der analytischen Werte“ erwähnt, lagen die Phosphatwerte nach der Reinigung häufig oberhalb des gesetzlichen Grenzwertes von 10 mg/L. Deshalb ist die Reduzierung des Phosphatwertes im zugeleiteten Abwasser ein wichtiger Faktor um die korrekte Funktion der Pflanzenkläranlage zu gewährleisten.

Die Anlage hat Studenten bei vielfältigen Projekten zur Entwicklung geeigneter Lösungsmethoden beschäftigt und bietet somit eine wertvolle Lernerfahrung im außeruniversitären Umfeld sowie Möglichkeiten zur Kooperation mit Universitäten. Durch diese studentische Unterstützung war es möglich Lösungen für die Phosphatabbauproblematik zu finden sowie Prozessverbesserungen durchzuführen.

In weiteren Projekten wurde die Düngung der Pflanzen der DPKA untersucht. Durch die hohe Phosphor- und niedrige Stickstoffmenge ist das Redfield-Verhältnis von 1 Mol P:16 Mol N gestört. Daher kann spezieller Stickstoffdünger zugegeben werden. Als Folge dessen tritt aber übermäßiges Algenwachstum auf. Eine vielversprechende Idee ist hier die Nutzung eines Algenrasenfilters (ARF), ein patentiertes Verfahren aus den USA. Hierbei wird ein Kunststoffnetz mit Algen bepflanzt und knapp unter die Wasseroberfläche gelegt. Zusätzlich siedeln sich weitere Algen und Bakterienstämme an. So kann ein Abbau von maximal 72 mg/L Phosphat erzielt werden. Aufwendig ist allerdings die Reinigung des Netzes und die Ernte der Algen. Insgesamt konnte durch die Algen ein gutes Potential der Phosphatentfernung (RHODES, 2014) ermittelt werden. Das Verfahren wurde jedoch nicht bis zur Serienreife für den täglichen Betrieb weiterentwickelt.

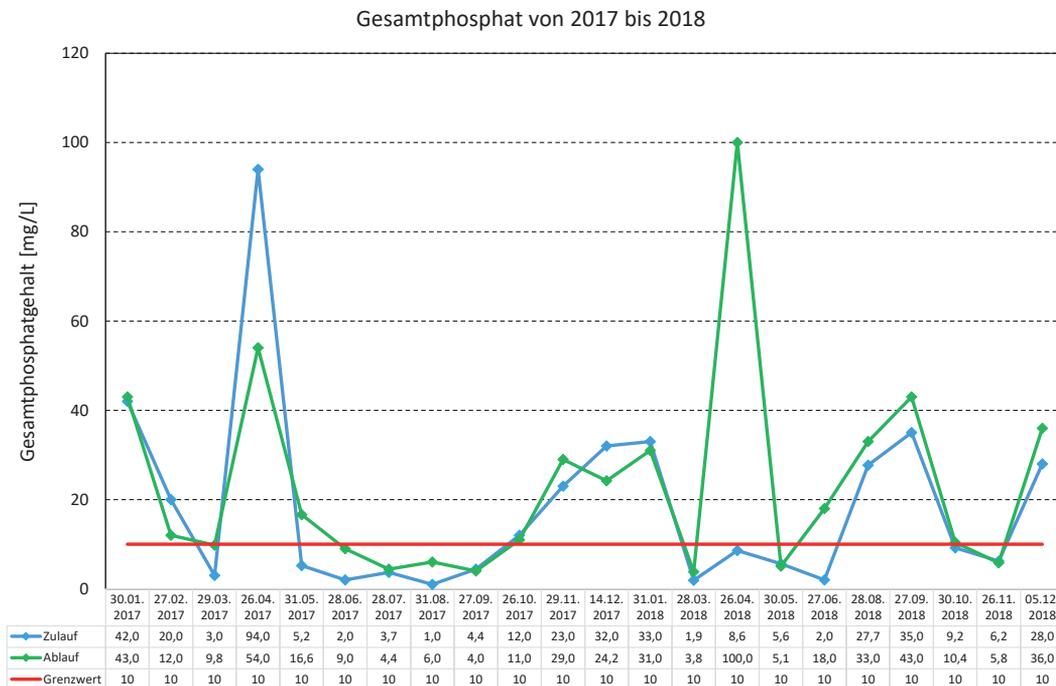


Abb. 4: Darstellung des Phosphatgehaltes in mg/L vom Jahr 2017 bis 2018.

Winterbetrieb und Prozesstechnik

Aufgrund der Außentemperaturen im Winter ist die Reinigungsleistung im Winterbetrieb deutlich reduziert. Bei Temperaturen unter Null Grad Celsius kann das Abwasser in den einzelnen Becken an der Oberfläche sowie teilweise bis auf den Grund der Pflanzen einfrieren. Die Reaktionszeit biologischer Systeme wird langsamer, so auch die der Mikroorganismen.

Da die Anlage primär für die Reinigung von Abwässern eines Industriebetriebes eingesetzt wird, ist sicherzustellen, dass die Anlage auch im Winterbetrieb die enthaltenen Nährstoffen zuverlässig auf die zulässigen Einleitparameter reduziert. Bei der Anlagenauslegung muss die reduzierte Reinigungsleistung im Winter für die Leistungsbemessung zugrunde gelegt werden. Es ergibt sich somit ein Leistungsüberschuss im Sommer. Im Herbst muss die Anlage zudem für den Winterbetrieb vorbereitet werden.

Da die Abwässer aus dem Produktionsgebäude mit einer Vorlauftemperatur von zirka 30 °C in die Anlage geleitet werden, ist meist ein problemloser Winterbetrieb bei Außentemperaturen bis 0 °C möglich. Die hohe Vorlauftemperatur gewährleistet in Verbindung mit der geringen Verweilzeit die Eisfreiheit in den Becken. Bei Temperaturen unter 0 °C müssen Stegbegleitheizungen für die Rohrleitungen verwendet werden, sowie Heizkabel um die Pumpen und Überläufe eisfrei zu halten. Ein Zufrieren der Wasseroberfläche stellt indes kein Problem dar, solange ein durchgehender Wasserfluss unter der Oberfläche gewährleistet wird. Ein Betrieb der Anlage bei Außentemperaturen unter -15 °C ist nicht möglich. Solche Temperaturen werden an dem Standort der Anlage jedoch nur an max. 2-3 Tagen pro Jahr erreicht.

Die Vorbereitungen für den Winterbetrieb beinhalten zum Beispiel einen Rückschnitt der Pflanzen auf zirka 20 cm Höhe. Anschließend werden die Pflanzenblätter, die abgestorbenen Pflanzen,



Abb. 5: links: Einstellung des Notfallrohres vom Speicherbecken zum sechsten Becken des Hauptreinigungsbeckens; Fotografiert am 23.01.2019
rechts oben: Das gebildete Eis im Notfallrohr bei Temperatur -1 °C; Fotografiert am 24.01.2019
rechts unten: Das gefrorene Abwasser im Zulaufbecken bei Temperatur unter -1 Grad; Fotografiert am 24.01.2019 (Fotos: John Deere).

Biomasse und Verunreinigung aus den Becken entfernt, damit sich keine Verstopfungen in den Rohren des Hauptreinigungsbeckens bilden. Außerdem sind die Pumpen, Schwimmerschalter, Sensoren und Abwasserführung zu kontrollieren und bei Bedarf zu reparieren. Im Weiteren werden defekte Heizkabel im Vorreinigungsbecken und Hauptreinigungsbecken ausgetauscht. Diese Kabel erzeugen Wärme bei Außentemperaturen unter 5 °C. Im Bereich der Heizkabel bildet sich damit kein Eis und Durchflussrohre und die Messsonden bleiben somit eisfrei.

Sonstige Störungen die an der Anlage auftreten können sind zum Beispiel ein Überlaufen des Vorklärbeckens. Gründe dafür sind entweder defekte Schwimmerschalter der Pumpe oder gefrorenes Abwasser im Vorklärbecken. Deshalb wird kein Abwasser vom Vorklärbecken in das Hauptklärbecken weitergepumpt. Eine Lösung dafür stellt der Einsatz eines Notfallrohres dar, welches das Abwasser vom Speicherbecken direkt zum sechsten Becken des Hauptreinigungsbeckens leitet (Abb. 5). Die Reinigungsleistung der Anlage reduziert sich hierbei nur unwesentlich.

KONTAKT

John Deere GmbH & Co. KG –
John Deere Werk Mannheim
Umweltabteilung
Jörn Fries
Telefon: +49 (0)621 8291484
E-Mail: FriesJoern@JohnDeere.com



Pflege der Sumpfpflanzenkläranlage

Um die Lebensdauer der Kläranlage zu verlängern und die Reinigungsleistung konstant zu halten, werden an der Kläranlage die folgenden Tätigkeiten durchgeführt:

Täglich	Per Sichtkontrolle den Zustand der Anlage überprüfen, ob alle Messsonden funktionsfähig sind, Durchflussrohre zwischen den Becken von Verstopfungen freihalten und alle Becken, Pflanzen und Umgebung ordentlich halten.
Wöchentlich	Entfernung von Phosphatschlamm im Zulaufbecken und Schlamm sowie Ablagerungen im Ablaufbecken, welche in einem Sieb zurückgehalten werden. Anschließend werden die Messsonden mit einer Bürste gereinigt, damit diese Messsonden nicht von Schlamm umgeben sind, der sich an den Sonden ablagern kann.
Monatlich	Die pH und O ₂ Messsonden an Zulaufbecken und Ablaufbecken kalibrieren.
Jährlich	Im Herbst die Pflanzenblätter schneiden und einige dichte Pflanzen entfernen, damit ein gleichmäßiger Wasserdurchfluss sowie die wirksame Reinigungsleistung des Systems erhalten bleiben.

LITERATUR

- Kozianka, F. (2004): Jahreszeitliche Abhängigkeit der Elimination einer Dachpflanzenreinigungsanlage ohne Bodenkörper in Korrelation zur Tag- und Nachtleistung. Diplomarbeit, S. 7
- Savyolova, A. (2006): Die Energieversorgung der Pflanzenabwasserreinigungsanlage ohne Bodenkörper der John Deere Werke Mannheim durch eine Photovoltaikanlage oder durch einen öffentlichen Anbieter beim Neunetzbau. Masterarbeit, S. 137–139.
- Gyser, C. (2013): Entfernung von Phosphor aus Abwasser einer Getriebeherstellung in einer Pflanzenkläranlage. Diplomarbeit, S. 12–26.
- Reindl, J. (2006): Erstellen von Konzepten für Dachpflanzenkläranlagen und Wirtschaftlichkeitsvergleich mit einer herkömmlichen chemisch-physikalischen Abwasserbehandlungsanlage. Diplomarbeit, S. 14.
- Reindl, J. (2006): Erstellen von Konzepten für Dachpflanzenkläranlagen und Wirtschaftlichkeitsvergleich mit einer herkömmlichen chemisch-physikalischen Abwasserbehandlungsanlage. Diplomarbeit, S. 24–26.
- Simper, N. (2018): Experimentelle und mathematische Beschreibung einer etablierten Dachpflanzenkläranlage, sowie Grundlagenversuche für weiterführende Erkenntnisse. Diplomarbeit, S. 66–68.
- Flyer 1: Dachpflanzenabwasserreinigungsanlage ohne Bodenkörper JDW2TR
- Rhodes, J. (2014): Entfernung von Phosphor aus Abwasser einer Getriebeherstellung in einer Pflanzenkläranlage. Bachelorarbeit, S. 40–42.
- Bayrisches Landesamt für Umwelt (2011): Bepflanzte Bodenfilter zur Reinigung häuslichen Abwassers in Kleinkläranlagen, Winterbetrieb. Umwelt Thema, Hrsg. Bayerisches Landesamt für Umwelt, S.23, <https://www.landkreis-wunsiedel.de/file/broschuere-pflanzenklaeranlagen.pdf>

Feuchtbeet für Vögel und Insekten - München

Das Feuchtbeet auf dem Dach des Werk 3 der OTEC GmbH & Co. KG in München entstand aus dem Gedanken/Wunsch des Bauherrn, mehr Nahrungsangebot für Vögel und Insekten anzubieten. Durch die starke Nachverdichtung in den Städten geht wertvoller Lebensraum für Vögel und Insekten verloren. Neben Nahrungsangeboten ist es sehr wichtig, den Tieren in den heißen Monaten genügend Wasser anzubieten. So wurde auf dem Werk 3 (Kreativquartier mit Büros, Kunst, Handel und Entertainment) ein nicht genutzter Kiesstreifen in ein Feuchtbeet umgewandelt. Der Kies wurde durch ein Lehm-Humus-Gemisch ersetzt. Eine automatische Bewässerungsanlage sorgt für die notwendige



Feuchtigkeit des Substrates. Wie in der Natur soll hier kein ständiger Wasserdurchfluss stattfinden. Die Feuchtefühler der Anlage erkennen den Feuchtegehalt und bei Bedarf wird das Feuchtbeet geflutet. Als Pflanzenauswahl wurde eine Mischung aus Sumpfdotterblume, Zwerg-Rohrkolben, Sumpf-Schwertlilie, Bach-Nelkenwurz, Wasserminze und Schachbrettblume gepflanzt.

„Nach der Pflanzung im Herbst 2018 sind wir gut mit viel Austrieb bei den Stauden ins Frühjahr gestartet. Es bleibt aber nach wie vor spannend, wie sich die Pflanzung im ersten Jahr weiter entwickelt.“

Christopher Hanuss, Landschaftsarchitekt

Technische Daten des Feuchtbeetes

- **Betreiber:** OTEC GmbH & Co. KG
- **Ort:** Werk 3 München
- **Baujahr:** 2018
- **Fläche:** 25 m²
- **Aufbau:** Stahleinfassung mit Teichfolie EPDM, kalkfreies Lehm-Humus-Gemisch ca. 25 cm, verteilt Steinlesehäufen, verschiedene Sumpfpflanzen
- **Bepflanzung:** Sumpfdotterblume (*Caltha palustris*), Zwerg-Rohrkolben (*Typha minima*), Sumpf-Schwertlilie (*Iris pseudacorus*), Bach-Nelkenwurz (*Geum rivale*), Wasserminze (*Mentha aquatica*), Schachbrettblume (*Fritillaria meleagris*)
- **Art der Nutzung:** Lebensraum für Insekten und Vögel, Wasserstelle, Nist- und Nahrungsangebot
- **Durchgeleitete Wassermenge:** Die Feuchtigkeit im Beet wird mit einem Feuchtefühler ermittelt und nur bei Bedarf wird das Beet geflutet.

KONTAKT

Jühling & Partner Landschaftsarchitekten bdla mbB
Bauerstraße 19, 80796 München
Christopher Hanuss
Telefon: +49 (0) 89 2777890
E-Mail: hanuss@juehling.net
www.juehling.net
Almschulen Projekt: www.almschule.de
www.werksviertel-mitte.de/construction/werk3



Sumpfpflanzendächer aus der Sicht des Planers – Grundlagen und Perspektiven aus der Praxis

Michael Blumberg ist Inhaber und Geschäftsführer des Ingenieurbüros Blumberg mit Sitz in Bovenden, Niedersachsen. Das Ingenieurbüro bearbeitet seit über 30 Jahren Aufgabenstellungen im Umweltsektor, insbesondere in der Siedlungswasserwirtschaft, sowohl in Deutschland als auch in zahlreichen internationalen Projekten in Asien, Afrika und Mittel- und Südamerika. Es ist auf ökotechnologische Verfahren wie Pflanzenkläranlagen, Klärschlammvererdungsanlagen und Retentionsbodenfilter spezialisiert und hat seit 2006 auch zahlreiche Sumpfpflanzendächer geplant, ausgeschrieben und bauleitend begleitet.



Das Interview führte Janine Pöfßneck (UFZ).

Herr Blumberg, wie sind Sie überhaupt zum Sumpfpflanzendach gekommen?

M. Blumberg: Ich habe schon seit über 20 Jahren über die Ingenieurökologische Vereinigung (IÖV e.V.) Kontakt zum Sächsischen Textilforschungsinstitut (STFI), hier insbesondere zu Herrn Mählmann, der mit einem eigenen Beitrag

in diesem Heft vertreten ist (S. 49). Das STFI hat eine Pflanzenträger- und Wasserspeichermatte entwickelt, die für ein Sumpfpflanzendach bestens geeignet ist (Abb. 1). Über diese speziellen Matten zur Dach- und vertikalen Fassadenbegrünung, die noch ständig weiterentwickelt werden, bin ich letztlich zu den Sumpfpflanzendächern gekommen.



Abb. 1: Pflanzenträger- und Wasserspeichermatte (Foto: M. Blumberg).

Was unterscheidet ein Sumpfpflanzendach von einer herkömmlichen Dachbegrünung? Worin liegen die Vor- oder auch Nachteile?

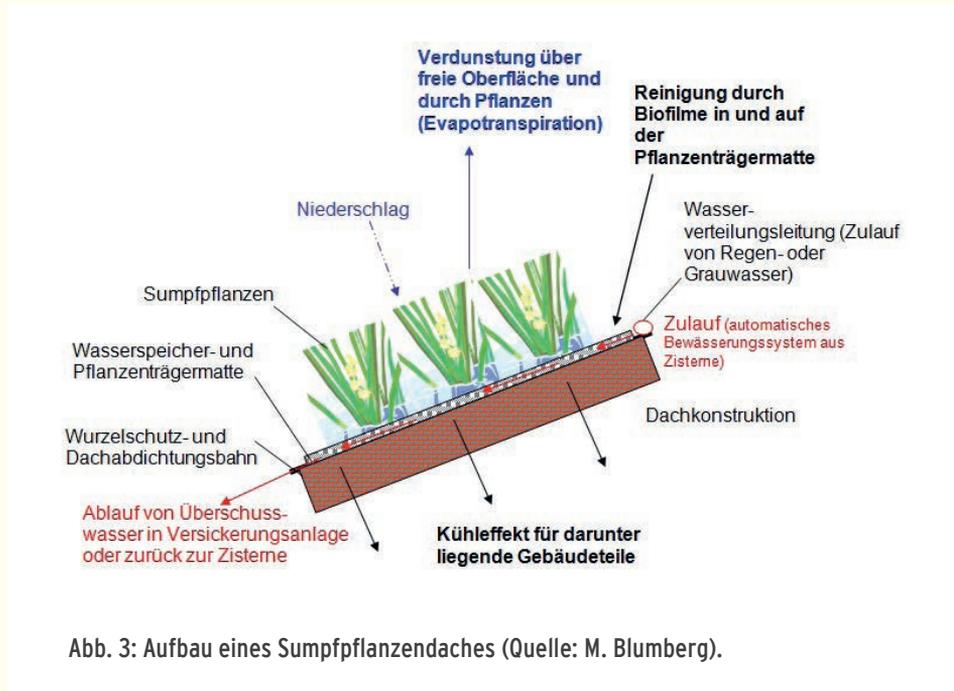
M. Blumberg: Der grundlegende Unterschied zu der Vielzahl anderer extensiver und intensiver Gründachvarianten ist, dass ein Sumpfpflanzendach täglich künstlich bewässert wird. In der Regel geschieht dies dadurch, dass Regenwasser von Dachflächen oder anderen befestigten Flächen, wie zum Beispiel Parkplätzen, in Zisternen oder Regenwasserrigolen gesammelt und von dort, gesteuert über einen Bewässerungscomputer, in einstellbaren Teilmengen auf das Sumpfpflanzendach gepumpt wird (Abb. 2 und 3). Der größte Teil des Wassers wird über die Sumpfpflanzen verdunstet und zwar etwa fünf bis neun Liter pro Quadratmeter und Tag. Überschüssiges Regenwasser fließt zurück in die Zisterne.

Allgemeine Vorteile von Gründächern gelten natürlich auch

für Sumpfpflanzendächer, meist sogar für diese im stärkeren Ausmaß, wie zum Beispiel die Erhöhung der Lebensdauer des Daches durch Temperaturdämpfung und Vermeidung der direkten Einwirkung der UV-Strahlung auf die Dachhaut. Es gibt aber einige Besonderheiten, wo das Sumpfpflanzendach den meisten anderen Gründächern deutlich überlegen ist.



Abb. 2: Gebäude mit einem Sumpfpflanzendach und Wasserkreislauf (Quelle: M. Blumberg).



Zu den primären Wirkungskomponenten eines Sumpfpflanzendaches zählen unter anderem die Kühlung und die weitestgehende Abflussreduktion von Niederschlägen, fast ohne Kanaleinleitungen. Kühlung und Regenwasserretention sind die Tophemen, die ein Sumpfpflanzendach einfach besser leisten kann als Standardgründächer. Bei einem Sumpfpflanzendach ist die Kühlungswirkung für die darunterliegende Etage im Gebäude interessant (Abb. 4). Das spart eine Menge Energie, die man sonst für eine Klimaanlage benötigt, insbesondere wenn man in wärmeren Ländern bzw. südlicheren Breiten wohnt und arbeitet.

Die Verdunstungswerte von Sumpfpflanzen sind deutlich höher als die von terrestrischen Pflanzen auf herkömmlichen Gründächern, weil die Sumpfpflanzen evolutionsbedingt viel mehr verdunsten als die üblicherweise auf extensiven Gründächern eingesetzten Sukkulenten. Die Sumpfpflanzen bilden gewissermaßen eine mehr als einen

Meter hohe Wiese aus Sauergräsern, zum Beispiel mit dominanten Arten aus den Familien der Binsen und Seggen, sowie mit diversen blühenden Uferpflanzen wie Blutweiderich, Iris und Wasserminze, um nur ein paar Beispiele zu nennen. Die Evapotranspiration von Wasser und die damit einhergehende Verdunstungskühlung liegt bei diesen Pflanzen an heißen Sommertagen, mit hohem Wasserdampf-sättigungsdefizit der Luft, bei bis zu 15 Litern pro Quadratmeter und Tag. Das macht sich nicht nur in der Etage unter dem Sumpfpflan-

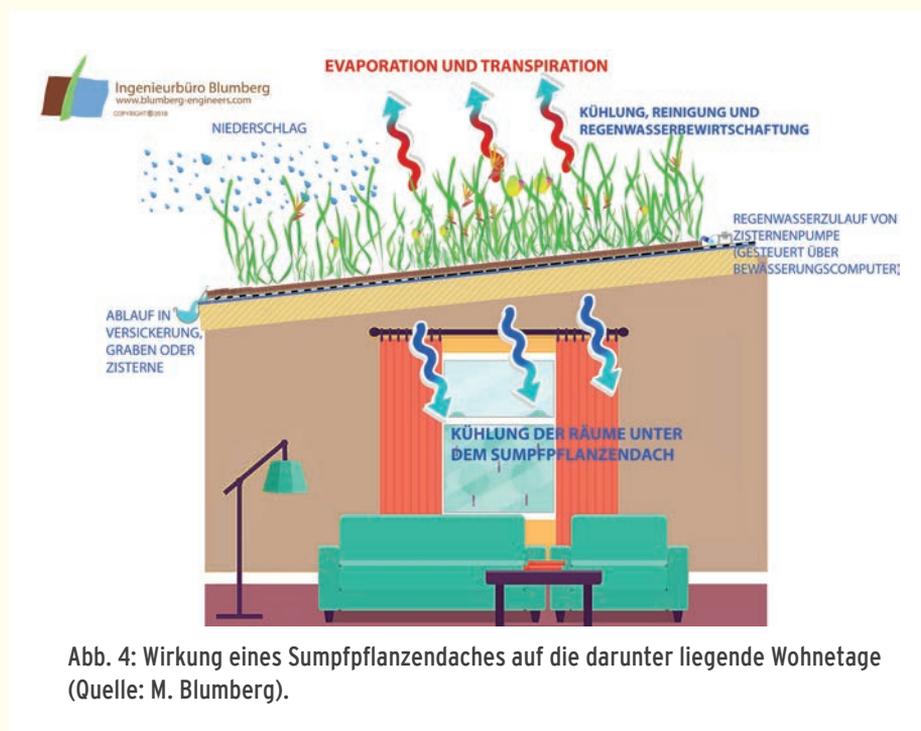




Abb. 5: Sumpfpflanzendach zur Gebäudeklimatisierung (Foto: M. Blumberg).

zendorfach in einer Temperaturabsenkung von acht bis zehn Grad bemerkbar (Abb. 4), sondern wirkt auch positiv auf das Mikroklima des Standortes.

Die Regenwasserretention, die schon bei einem normalen Gründach beträchtlich ist, erreicht bei einem Sumpfpflanzendach Werte von über 90 %, so dass nur noch bei Starkregen Oberflächenwasser in die Kanalisation abgeführt werden muss. In der Einsparung von Regenwassereinleitungsgebühren liegt somit einer der ökonomischen Hauptvorteile.

Die Dachhaut hält bei einer Begrünung mit Sumpfpflanzen wahrscheinlich doppelt so lange wie bei einem ungeschützten Bitumendach. Denn die UV-Strahlung der Sonne trifft nicht direkt auf die Dachhaut, sondern wird durch die üppige Vegetation zurückgehalten. Neben der Kühlung ist das ein weiterer Vorteil der Beschattung durch die pflanzliche Biomasse (Abb. 5), der den Standardgründächern mit Sukkulenten unter sommerlichen Bedingungen weitestgehend abgeht.

Extensive Gründächer mit Halbwüstenpflanzen überleben zwar die sommerlichen Hitzeperioden ohne Bewässerung, sind aber physiologisch kaum aktiv, gewissermaßen im Schlafmodus. Eine anderthalb Meter hohe Sumpfpflanzendachvegetati-

on hingegen produziert auch viel mehr Sauerstoff durch Photosynthese und kann in weit höherem Maße Staubemissionen filtern als Standardgründächer mit ihrer trockenheitsresistenten Vegetation. Ja, das klingt paradox: Bei der extensiven Standarddachbegrünung werden Vegetationsformen eingesetzt, die besondere physiologische Anpassungen aufweisen, um sommerliche, niederschlagsarme Wetterphasen zu überstehen. Bei den Sumpfpflanzendächern nutzen wir eine Flora, die als Uferpflanzen nahezu ganzjährig Wasser im Überfluss zur Verfügung hat, also das krasse Gegenteil. Das geht natürlich nur, weil wir diese speziellen Gründächer mit amphibischen Pflanzen künstlich bewässern.

Ein weiterer Vorteil sind die geringen Dachlasten von Sumpfpflanzendächern, weil sie als substratloses Begrünungsverfahren lediglich mit einer textilen Wasserspeicher- und Pflanzenträgermatte ausgestattet sind. Es kommt also kein Sand, Kies oder anderes Pflanzsubstrat zum Einsatz. Schließlich besteht eine vorteilhafte Option darin, den Wurzelraum dieser bepflanztten Matten als „Dachkläranlage“ zu nutzen, zum Beispiel im Rahmen des Grauwasserrecyclings, um damit dann die Toilettenspülung zu betreiben oder auch zur Gartenbewässerung.

Sumpfpflanzendächer können sowohl auf Flachdächern als auch auf Schrägdächern installiert werden.

Der Vorteil bei einem Flachdach gegenüber einem Schrägdach liegt darin, dass man einen Teil des Regenwasserspeichers auf dem Dach direkt installieren kann, zum Beispiel indem man dort 10 bis 30 cm Wasser einstaut und die Sumpfpflanzenmatten schwimmend aufbringt. Über eine spezielle Reguliervorrichtung beziehungsweise Ablaufdrossel kann der Wasserspiegel in der Höhe so einjustiert werden, dass die jeweilige Statik des Daches nicht überfordert wird. Wenn Teile der Regenwasserspeicherung auf dem Dach erfolgen, kann natürlich das erforderliche Zisternenvolumen entsprechend reduziert werden, was Kosten spart.

Ein Nachteil ist aus meiner Sicht die Notwendigkeit technischer Systeme zur Bewässerung und damit die Empfindlichkeit gegenüber Störungen im Bereich der Energieversorgung. Bei uns in Europa kann man das alles bestens technisch im Griff behalten. Anders sieht es zum Beispiel in Entwicklungsländern mit ihren häufigen Stromausfällen aus.

Die speziellen, mit Sumpfpflanzen in Mischpopulation bestückten Dachmatten, sollten gärtnerisch etwa eine Vegetationsperiode vorkultiviert werden, um einen maximalen Deckungsgrad schon bei der Installation zu erreichen. Dies ist auch ein gewisser Nachteil, wegen des Zeitverzugs durch die Vorkultivierung zwischen Auftrag und Ausführung.

Welche Pflanzen eignen sich für ein Sumpfpflanzendach?

M. Blumberg: Die meisten Menschen haben für ein begrüntes Dach auch einen ästhetischen Anspruch, insbesondere sollten auch auffällig blühende Pflanzen vorhanden sein. Die erste blühende Pflanze im Frühjahr ist die Sumpfdotterblume, *Caltha palustris*. Dann sollte unbedingt der Blutweiderich, *Lythrum salicaria*, dabei sein, weil dieser nicht nur eine optisch schöne Blüte hat,



Abb. 6: Blutweiderich (*Lythrum salicaria*) auf einem Sumpfpflanzendach (Foto: M. Blumberg).

sondern auch von Insekten, zum Beispiel Schmetterlingen, stark frequentiert wird und sich durch Aussamung gut verbreitet (Abb. 6). Die Gauklerblume *Mimulus* hat sich in dieser Hinsicht, auch wenn sie keine einheimische Art ist, sehr bewährt. Sie gehört zu den Sumpfpflanzen, die das halbfleuchte Milieu der nicht eingestauten Vegetationsmatten perfekt finden und die eine hohe laterale Ausbreitungstendenz haben. Denn wir wollen natürlich in der gärtnerischen Vorkultur vor allen Dingen einen schnellen Effekt der flächenhaften Besiedlung haben, damit sich unerwünschte Kräuter und Gräser nicht durch Samenanflug ansäen und dann durchsetzen.

Bestimmte Seggen- und Binsenarten sind nach meinen Erfahrungen als Hauptbestandsbildner unverzichtbar, weil sie einen extrem intensiven Wurzelfilz aus Rhizomen, Fein- und Grobwurzeln bilden, der insbesondere bei der Wasserreinigung, die ja bei Standardgründächern bisher noch nie ein Thema war, durch die aufsitzenden Mikroorganismen wirksam ist. Ein weiterer Aspekt bei der Auswahl ist die Konkurrenzstärke gegenüber spontan aufkommenden, konkurrierenden Pflanzen. Seggen bilden schnell Tochterpflanzen, breiten sich seitlich aus und sind da, wo sie einmal etabliert sind, nicht mehr von anderen, durch Samenanflug herangetragenen Pflanzen zu verdrängen. Hier ist unser Favorit die Sumpfschilf, *Carex*

acutiformis. Aber auch andere Seggenarten haben sich bewährt. Binsen wachsen deutlich stärker horstartig und bieten damit Konkurrenzpflanzen viel größere Möglichkeiten zur Etablierung. Hinzu kommen wieder ästhetische Gesichtspunkte: Manche Binsen, wie die Flatter-Binse (*Juncus effusus*) sind rein grün, andere wie die Blaugrüne Binse (*Juncus inflexus*) sehen, wie ihr Name schon sagt, eher bläulich aus. Und so kommen wir dann von den 20 bis 30 Pflanzen, die wir unter verschiedenen Aspekten in der engeren Wahl und in unserer Gärtnerei Rhizotech getestet haben, am Ende vielleicht zu 10 bis 15 Spezies, die dauerhaft stabil sind und die wir vorzugsweise nutzen (Abb. 7).

Wie werden die Sumpfpflanzen mit Nährstoffen versorgt?

M. Blumberg: In der gärtnerischen Vorkultur können wir die Pflanzen düngen, so dass wir eine schnelle, flächenhafte Ausbreitung und Mattenbesiedlung erzielen, also einen hohen Deckungsgrad. Wenn die Sumpfpflanzenmatten auf dem Dach positioniert worden sind, erfolgt die Nährstoffversorgung durch trockene Deposition aus der Luft,

zum Beispiel durch Staubemissionen oder mit dem Niederschlag. Es ist schon erstaunlich, dass die Pflanzen mit dieser Magerkost zurechtkommen.

Gleichwohl kann es nützlich oder auch erforderlich sein, dem Bewässerungswasser in der Zisterne gelegentlich eine Düngung zuzugeben, um die Pflanzen zu kräftigen. So wie wir unsere Wiese im Garten behandeln, so würde ich auch ein Sumpfpflanzendach behandeln. Wird unser Rasen gelb, dann deutet das zum Beispiel auf Stickstoffmangel hin und wir werden geeignete mineralische Dünger ausbringen.

Mit welchem Aufwand für Pflege und Wartung muss man bei einem Sumpfpflanzendach rechnen?

M. Blumberg: Ich halte den Aufwand für sehr gering, aber ein gelegentlicher Blick auf den Bewässerungscomputer sollte schon erfolgen. In der Regel erfolgt die Überwachung über eine Störmeldung, entweder als SMS aufs Handy oder man hat eine rote Lampe, die leuchtet, wenn die Bewässerungspumpe kaputtgeht.

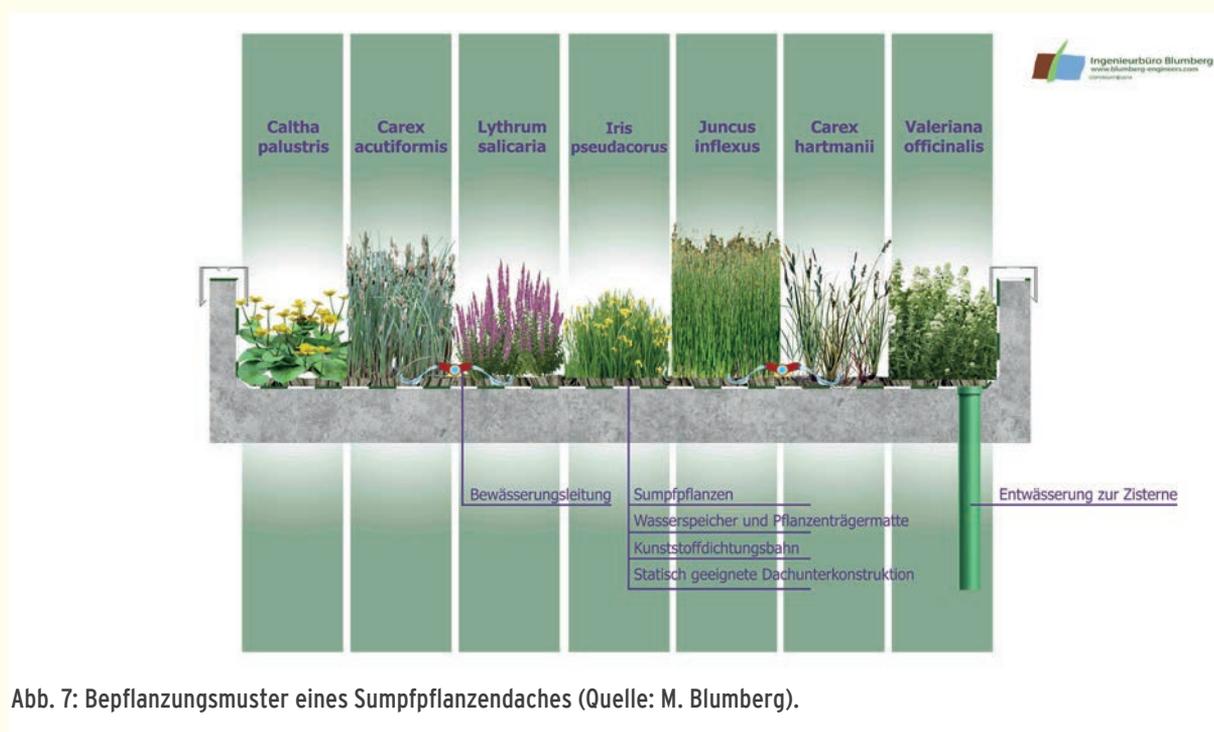


Abb. 7: Bepflanzungsmuster eines Sumpfpflanzendaches (Quelle: M. Blumberg).

Wir raten davon ab, die Pflanzen zu mähen. Im Winter liegen sie als Stroh auf dem Dach. Der Wind zerbröseln das trockene organische Material allmählich, bis der Neujahrsaustrieb kommt. Ein Problem, was ich persönlich sehe, hängt von der Umgebung ab. Wenn dort bestimmte wasserliebende Bäume wachsen, zum Beispiel Weiden oder Erlen, bekommt man über Samenflug Baumchösslinge aufs Dach. Die werden immer höher und irgendwann bläst der Wind sie natürlich um. Dann liegt der noch kleinwüchsige Baum da und hebt die Vegetationsmatte an. Man kann die Bäume ab einer bestimmten Größe nicht mehr ausreißen, ohne die Matte an der Stelle zu zerstören. Keimlinge von Bäumen müssen also möglichst frühzeitig bekämpft werden. Wenn man damit zu lange wartet, zum Beispiel weil sie ja in den ersten Jahren noch sehr klein sind und durchaus sehr attraktiv aussehen, hat man später Schwierigkeiten sie wieder loszuwerden.

Sumpfpflanzendächer haben einen positiven Effekt auf das Gebäudeklima. Wodurch wird eine Kühlung der darunterliegenden Räume bewirkt und wie stark fällt diese aus?

M. Blumberg: Die Funktion von Sumpfpflanzendächern als innovative Form der Dachbegrünung liegt insbesondere in der Gebäude- und Umgebungskühlung. Bei den zu optimierenden Kühlprozessen handelt es sich um den Wärmeaustausch durch Strahlung, Konvektion und Verdunstung.

Konvektion bezeichnet Wärmeströmung aufgrund von Dichteunterschieden. Der Prozess ist an einen Transport von Teilchen, in diesem Fall von Luftmolekülen, gebunden, die thermische Energie mitführen. Der Wärmeaustausch zwischen Dach- bzw. Wasserfläche und Luftphase unterliegt den Gesetzen des Wärmeübergangs. Erwärmt sich Luft an einer warmen Oberfläche, so verringert sich die Dichte und die Luft steigt nach oben, hierdurch wird thermische Energie abtransportiert. Man kann auch sagen, dass Energie von einem Ort höherer Temperatur mit der Materie zu einem Ort niedrigerer Temperatur wandert.

Anders als Konvektion ist Wärmestrahlung (Infrarotstrahlung) nicht gebunden an Teilchen, hat also keinen materiellen Träger; es handelt sich um elektromagnetische Wellen, die jeder Körper abhängig von seiner Temperatur und Beschaffenheit durchlässt, reflektiert oder absorbiert.

Die Wärmeabstrahlung der Erde bewirkt besonders in klaren Nächten eine Abkühlung, da keine Wolken die Infrarotabstrahlung reflektieren können. Somit kühlt sich die Luft dann besonders schnell ab und begünstigt damit auch die freie Konvektion.

Die Verdunstung bezeichnet die teilweise oder vollständige Umwandlung eines Fluids von der flüssigen zur gasförmigen Phase. Die Umwandlung erfordert Energie, die Verdunstungswärme, welche der Umgebung entzogen wird. Es resultiert ein Abkühlen der Umgebung. Um 10 Liter Wasser zu verdunsten, werden 2450 kJ benötigt. Dies entspricht der Wärmemenge, die 190 m³ Luft entzogen wird, um diese um 10 °C abzukühlen. Im Allgemeinen wird zwischen der Evaporation, also der Verdunstung auf unbewachsenem Land oder freier Wasserfläche, und der Transpiration, also der Blattverdunstung, unterschieden, wobei diese auch als Evapotranspiration (ET) zusammengefasst werden können.

Die ET ist abhängig von Luftfeuchte, Lufttemperatur, Oberfläche und deren Beschaffenheit, Windstärke und der Sonneneinstrahlung. Wobei die ET bei hoher Lufttemperatur, geringer Luftfeuchte und großer Oberfläche maximal ist.

Zur Steigerung der Kühlungsfunktion sollten folglich alle physikalischen und biologischen Gegebenheiten zur Wärmeabgabe durch die drei genannten Faktoren soweit wie möglich optimiert werden. Insbesondere liegt das Augenmerk hierbei auf der Wahl der Pflanzen und den Beschieckungsintervallen und -zeitpunkten mit Wasser. Die Kühlung des Daches am Tag kann primär durch die Beschickung mit kühlem Wasser und dessen Verdunstung erfolgen. Experimente von

Huang und anderen haben ergeben, dass eine Sumpfdachfläche eine zusätzliche Temperaturreduktion (im Vergleich zu freien Wasserflächen) von 3 – 5 °C herbeiführt. Durch die ständige Bereitstellung einer ausreichenden Wassermenge, die Nutzung von Pflanzen mit besonders großem Blattflächenindex und hoher Evapotranspirationsleistung, und einer optimalen Pflanzenernährung kann eine maximale Kühlleistung erreicht werden. Des Weiteren verhindert die Beschattung des Daches durch eine dichte Vegetation eine Erwärmung durch Wärmestrahlung. Als Pflanzen bieten sich Helophyten¹ an, da diese bei ständiger Wasserverfügbarkeit auch bei hohen Sommer-temperaturen eine hohe Evapotranspirationsrate beibehalten, anders als terrestrische Pflanzen, die über die Stomataregulation (Regulation der Blattöffnungen) ihre Transpiration reduzieren.

So weisen Sumpfpflanzen laut LANUV-Arbeitsblatt 29 (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen) eine mittlere Evapotranspirationsrate von 1.100 mm pro Jahr auf, hingegen Gras- und Ackerflächen nur 400 mm pro Jahr. Messungen der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden zufolge liegt die Evapotranspirationsrate von Schilf sogar bei 1.300 – 1.500 mm pro Jahr. Im Zuge des Roof Water-Farm Projekts wurden 2016 in Berlin Evapotranspirationsraten von 1.400 mm pro Jahr für die Gewöhnliche Teichbinse (*Scirpus lacustris*) und bis 2.000 mm pro Jahr für Schilf (*Phragmites australis*) gemessen.

Eine Wärmeabstrahlung und Kühlung durch Konvektion erfolgt insbesondere in der Nacht. Es wird deshalb angestrebt, dass das tagsüber erwärmte Wasser sich bei Nacht wieder abkühlt. Eine Optimierung der Kühlleistung wird erreicht, indem das Wasser in der Nacht besonders lange auf dem Dach verweilt bzw. in diesem Falle besonders oft über das Dach geleitet wird. Dies ist also letztlich eine Aufgabe an uns Planer, den Bewässerungscomputer entsprechend zu programmieren.



Abb. 8: Durchwuzelte Vegetationsmatte (Foto: M. Blumberg).

Wie überstehen Sumpfpflanzendächer lange niederschlagsfreie Perioden wie beispielsweise im Trockensommer 2018?

M. Blumberg: Die meisten Sumpfpflanzen können durchaus mal eine Trockenphase überstehen, das heißt mehrere Tage völlig trocken fallen. Diese Helophyten müssen in ihrem natürlichen Lebensraum einiges aushalten, zum Beispiel den Rückgang des Wasserspiegels im Sommer an See- oder Flussufern und damit ein teilweises Austrocknen oder auch das Gegenteil, nämlich zum Beispiel ein Frühjahrshochwasser, wo sie mal über Wochen völlig überstaut werden. Aber das hat natürlich auf dem Dach eine Grenze. Bei maximaler Sonneneinstrahlung im Sommer ist nach einem Tag Nichtbewässerung, zum Beispiel durch Stromausfall oder Pumpendefekt, die Matte schon halb trocken. Dann überstehen sie schätzungsweise noch ein paar Tage ohne Wasserversorgung. Schließlich ist die Strahlung so massiv, gerade auf dem Dach, dass die Pflanzen nach relativ kurzer Zeit eingehen. Das ist natürlich riskant. Daher muss die Matte mindestens für diese Wasserstresstage noch eine minimale Restfeuchtigkeit vorhalten. Zur Bewältigung längerer Trockenphasen wird eine Notzufuhr vom Trinkwassersystem installiert. Eine Drucksonde misst in der Zisterne den Wasserspiegel. Sobald dieser unter einen kritischen Wert fällt, wird automatisch die Bewässerung aus der Trinkwasserleitung zugeschaltet. Über ein Schwimmventil wird der Wasserzufluss wieder abgeschaltet, wenn der gewünschte Füllstand erreicht ist. Wem das zu viel Technik ist, der kann das natürlich auch manuell machen, darf dann allerdings nicht in Urlaub fahren.

¹ Helophyten = Sumpfpflanzen, Pflanzen sehr feuchter bis nasser oder flach überschwemmter Standorte



Abb. 9: Das Sumpfpflanzendach in Zofingen kurz nach der Erstbepflanzung durch die Firma Rhizotech (Foto: M. Blumberg).

Welche Anforderungen müssen die Vegetationsmatten erfüllen?

M. Blumberg: Wir brauchen eine Matte, die als Pflanzenträger agiert und Wasser speichert. Der Ehrgeiz ist der, substratlos zu arbeiten und damit auch Gewicht und Kosten einzusparen. Die Matte wird außerordentlich intensiv durchwurzelt (Abb. 8) und hat eine hohe Reinigungswirkung als Träger der Biozönose der Mikroorganismen. Bei der Wasserspeichermatte ist aber der wichtigste Punkt - zum Beispiel in Entwicklungsländern, aber natürlich auch im südlichen Europa - dass es gelegentlich Stromausfälle gibt. Dann haben wir vorübergehend keine Bewässerung. Unsere Anforderung ist daher ein Wasserspeichervermögen von mindestens zehn Litern pro Quadratmeter, um solche technisch induzierten Dürreperioden zu überstehen.

Wie sieht der Winterbetrieb eines Sumpfpflanzendaches aus?

M. Blumberg: Während im Sommer die Wasserleitungen ständig gefüllt sind, laufen sie im Winter selbständig leer, um nicht durchzufrieren. Wir bewässern in dieser Zeit nicht. Über den Winter haben wir bisher keinerlei Schäden an der Vegetation feststellen können. Die Winterfeuchtigkeit durch Regen, Nebel, Schnee und Wasserdampf ist völlig ausreichend.

Allerdings ist Frosttrocknis² hier ein Thema. Der Punkt ist der, wenn zum Beispiel im Garten das Wasser im Boden zu Kristallen gefriert, hat die Pflanze keine Möglichkeit mehr Wasser aufzunehmen. Infolgedessen erfriert sie entgegen der landläufigen Meinung nicht, sondern sie vertrocknet. Man sollte meinen, auf dem Dach geht das noch viel schneller. Aber wir konnten noch nicht beobachten, dass dieser Fall eintritt. Wir programmieren den Bewässerungscomputer so, dass er die Bewässerung abschaltet, sobald die Temperatur bis auf plus drei Grad Celsius sinkt. So vermeiden wir, dass sich ein Eispanzer auf dem Dach bildet.

Gab es bisher behördliche Auflagen zum Bau von Sumpfpflanzendächern in Deutschland?

M. Blumberg: Nein, für die Behörden ist das einfach irgendeine exotische Gründachvariante.

Haben Sie Erfahrungen mit Sumpfpflanzendächern im Ausland?

M. Blumberg: Im Grunde haben wir damit kaum Erfahrungen im Moment. In der Schweiz haben wir ein Sumpfpflanzendach für ein Architekturbürogebäude in Zofingen geplant und gebaut (Abb. 9, vgl. Jud, S. 46 in diesem Heft).

Im nächsten Jahr werden wir jedoch ein neues Institutsgebäude der Charles Darwin Foundation (CDF) auf den Galapagos-Inseln in Ecuador mit

² Frosttrocknis = Wassermangel bei Pflanzen, da der Verlust an Wasser durch Transpiration nicht ausgeglichen werden kann, weil das Wasser im Wurzelraum gefroren ist

einem 320 m² großen Sumpfpflanzendach ausstatten und mit gereinigtem Abwasser aus einer ebenfalls von uns geplanten Pflanzenkläranlage bewässern.

Wie beurteilen Sie die Perspektiven von Gründächern?

M. Blumberg: Das ist ein kontinuierlich und aktuell sogar exponentiell wachsender Markt. In Deutschland geht die Fachvereinigung Bauwerksbegrünung (FBB) von 10 – 14 Millionen m³ neuer Gründachfläche pro Jahr aus.

Im Ausland gibt es mittlerweile zahlreiche Städte – sagen wir mal aus der ersten Reihe – wie zum Beispiel Singapur, Shanghai, Toronto, Denver und manch andere, die Gründächer zwingend vorschreiben. Ganz aktuell hat der Stadtrat von New York (am 22.04.2019) eine Gesetzesvorlage verabschiedet (Climate Mobilization Act), wonach alle neuen Wohn- oder Bürogebäude in der City entweder mit Solarpanelen, kleinen Windturbinen, Gründächern oder einer Kombination dieser Elemente ausgestattet werden müssen. Ziel ist es, den Energieverbrauch (zum Beispiel für Klimatisierung)– und damit einhergehend die CO₂-Emissionen – drastisch zu senken.

Welche Argumente sprechen aus unternehmerischer Perspektive für ein Sumpfpflanzendach?

M. Blumberg: Wenn man den Markt betrachtet, muss man überlegen, wo liegt die Massennachfrage? Was sind die Kriterien, warum Leute eventuell ein Gründach nachfragen, egal ob konventionell oder ein spezielles Sumpfpflanzendach?

Im Moment steht der Regenwasserrückhalt im Vordergrund. Die Retention von Niederschlagswasser spielt in der aktuellen Debatte der Gründachindustrie eine überragende Rolle – in Hinblick auf Klimawandel, Starkregenereignisse und

die Entlastung der städtischen Kanalisation. Die Gebäudekühlung und die Reduktion des Hitzeinseleffekts würde ich an zweite Stelle setzen. Und dann erst, unter gewissen Umständen des Einzelfalls, käme bei mir die Grauwasserreinigung als Vertriebsargument.

Für ein Sumpfpflanzendach, als eine sehr besondere Variante der Gründächer, sprechen vor allem folgende Faktoren: Die weitgehende Regenwasserretention, die Kühlung von Gebäude und Umgebung, die Steigerung der Biodiversität und die verzögerte Alterung der Dachhaut.

Welche positiven Effekte erwarten Sie durch den Gebrauch von Sumpfpflanzengründächern?

M. Blumberg: Durch Kühlung können Sumpfpflanzendächer Gesundheitsrisiken aufgrund von Hitze besonders in Städten verringern. Der Zusammenhang zwischen Hitzewellen und Todesfällen beziehungsweise Krankheiten ist bewiesen. In Städten tritt dieses Phänomen aufgrund des Hitzeinseleffekts verstärkt auf. Das Sumpfpflanzendach kühlt besonders die Räume unter dem Dach, also das obere Stockwerk, welches einen Risikoraum für Hitzeerkrankungen darstellt. Eine Begrünung mit hoher Biomasse und somit Kühlung des Daches kann diese Belastungen stark vermindern und somit sogar Leben retten.

Einsparungen durch verringerte Stromkosten für eine Klimatisierung werden zu Recht oft als Argument für die Dachbegrünung genannt. Darüber hinaus sparen Unternehmen aber auch durch den geringeren Hitzestress am Arbeitsplatz. So erhöhen sich mit steigender Temperatur nicht nur die Arbeitsausfälle durch hitzebedingte Krankheiten und Unfälle sondern auch die Pausenfrequenz und der Produktivitätsverlust bei physischer und mentaler Arbeit. Gemäß einer Untersuchung von TAKAKURA aus dem Jahr 2017 belaufen sich die globalen Verluste aufgrund von Arbeitspausen zur

Hitzestressprävention durch den Klimawandel je nach Szenario auf 0,5 – 2,8 % des Welt-Bruttoinlandsproduktes (BIP). Bei einem Welt-BIP von 90.000 Milliarden US-Dollar ergibt sich ein Verlust von 450 – 2.520 Milliarden US-Dollar. Die Arbeit von Takakura enthält eine detaillierte Liste, die den BIP-Verlust nach Ländern aufschlüsselt.

In vielen Gebieten dieser Erde herrschen ständig hohe Temperaturen. Hier können durch massenhaften Einsatz von Wetland Roofs die Arbeitsbedingungen verbessert werden, wodurch eine Leistungssteigerung und Gesundheitsverbesserung der Arbeitskräfte erzielt werden kann.

Da sich die Hitze besonders auf die Leistung körperlich anspruchsvoller Arbeit im Freien auswirkt, ist es erstrebenswert, Städte flächendeckend mit Gründächern bzw. Sumpfpflanzendächern auszustatten. Nach Modellen von Rosenzweig und anderen Autoren kann schon eine extensive Dachbegrünung von 50 % der Dachflächen einer Stadt zu einer Senkung der Gesamttemperatur um 0,1 – 0,8 °C führen, eine intensive Begrünung zu einer Abkühlung bis zu 3 °C. Diese Werte beziehen sich auf substratbeladene Dächer mit Moos-, Gras-, Busch- oder Baumbepflanzung. Vergleicht man die Evapotranspirationsleistungen verschiedener Vegetationsformen, so ist zu erkennen, dass durch die Begrünung mit Sumpfpflanzen eine deutlich höhere Abkühlung erwartet werden kann, da der Umgebung durch die 2 – 3 fache Evapotranspirationsleistung dieser hydrophilen Pflanzenarten gegenüber terrestrischen Pflanzen auch eine entsprechend größere Energiemenge entzogen wird.

Wie realistisch ist es, dass ganze Städte dachbegrünt werden? Ist das auch wirtschaftlich sinnvoll?

M. Blumberg: Es gibt zahlreiche Beispiele, die belegen, dass die Investition in Dachbegrünung auch eine ökonomisch nachhaltige Strategie für Städte ist. So konnte beispielsweise die Stadt Philadelphia in Pennsylvania allein in dem Zeitraum 2006 – 2010 durch grüne Infrastrukturmaßnahmen, unter anderem auch durch die Förderung von Gründächern, 170 Millionen US-Dollar durch die

Entlastung der Kanalisation einsparen.

Laut einer Analyse von Will Hewes aus dem Jahr 2008 würde die Bepflanzung von 1 % der großen Dachflächen aller mittelgroßen und großen Städte der USA über 190.000 Arbeitsplätze erzeugen. Viele deutsche Städte fördern die Begrünung von Dächern bereits, wie beispielsweise die Freie Hansestadt Bremen; gefördert werden bis zu 25 % der förderfähigen Kosten. Die Förderhöhe pro Quadratmeter begrünter Fläche beträgt maximal 25 Euro. Darüber hinaus soll in Bremen im Mai 2019 ein neues Begrünungsortsgesetz verabschiedet werden, welches unter anderem vorschreibt, dass bestimmte Dachflächen ab einer Größe von 100 m² unter Anwendung einer Mindestsubstratschicht von 10 cm begrünt werden müssen.

Welche Kosten können durch die Dachbegrünung, insbesondere durch Sumpfpflanzendächer, eingespart werden?

M. Blumberg: In erster Linie sind hier die jährlichen Niederschlagswassergebühren zu nennen, die zum Beispiel in einer Größenordnung von 0,70 Euro je Quadratmeter anfallen.

Durch die verbesserte Dämmung entstehen zudem geringere Heiz- und Kühlkosten und auch die längere Haltbarkeit des Daches führt zu Kostenreduktionen. Eine flächendeckende Dachbegrünung in Städten führt nach Modellprognosen außerdem zu einem höheren Bruttoinlandsprodukt, da die positiven Effekte auf Mensch und Klima zu einer geringeren Zahl an Krankheits- und Arbeitsausfällen führt.

Was sind Ihre weiteren Schritte und Perspektiven, das Konzept des Sumpfpflanzendachs zu fördern?

M. Blumberg: Wir arbeiten intensiv mit Prof. Zehndorf vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig zusammen und publizieren gemeinsam fortlaufend neue wissenschaftliche Erkenntnisse (aktuell im Journal Water).

Dieses Jahr wird ein Forschungsgründach auf einem Institutsgebäude des UFZ errichtet. Dabei werden vier Gründachtypen über einen längeren

Zeitraum intensiv untersucht und miteinander verglichen, 25 % der Fläche in der innovativen Variante eines Wetland Roofs. Da bringen wir uns natürlich in Planung und Realisierung praktisch ein.

Wir werden nächstes Jahr auch ein Sumpfpflanzendach (320 m²) für ein neu zu errichtendes Institutsgebäude auf den Galapagos-Inseln bauen, das wir im letzten Jahr geplant haben. Dort wollen wir eine dezentrale Pflanzenkläranlage des Typs „zweistufige vertikal durchströmte Rohabwasserbehandlung“ errichten und werden das gereinigte Abwasser zur Gebäudekühlung auf das Sumpfpflanzendach pumpen. Es ist dort am Äquator überwiegend sehr heiß und trocken und die Bewässerung nur über eine Regenwasserzisterne wäre sicher nicht ausreichend.

In Bezug auf die Weiterentwicklung des Wetland-Roof-Verfahrens haben wir eine neue Pflan-

zenträger- und Wasserspeichermatte entwickelt, die komplett aus Schurwolle besteht und damit vollständig aus Naturmaterial. Wir arbeiten aktuell an einer ökonomisch vorteilhaften Produktionstechnologie.

Perspektivisch würden wir natürlich auch gerne mal einen Dachgarten in Form eines Sumpfpflanzendaches gestalten. Auf einem Hochhaus in China waren wir mal nah dran am Auftrag (siehe Bild S. 30).

KONTAKT

Ingenieurbüro Blumberg
Dipl.-Ing. Agr. Michael Blumberg
Gänsemarkt 10, 37120 Bovenden
E-Mail: contact@blumberg-engineers.de
www.blumberg-engineers.de

LITERATUR

- Blumberg, M. (2011): Sumpfpflanzendächer als Variante der Dachbegrünung. In: Regenwasserbewirtschaftung - GWF Praxiswissen; Ziegler, C.; 1. Deutscher Industrieverlag: München, 2011; S. 189-196.
- Blumberg, M. (2010): Sumpfpflanzendächer, eine besonders vielseitige innovative Variante der Dachbegrünung, GWF Wasser Abwasser, 151. Jahrgang / Heft 6, Essen, 2010, S. 568-571.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (2010): Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung, Gebäudebegrünung, Gebäudekühlung, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin
- Huang, Y., Chen, C., Tsai, Y. (2016): Reduction of temperatures and temperature fluctuations by hydroponic green roofs in a subtropical urban climate. In: Energy and Buildings, Vol. 129, S. 174-185.
- Siegl, A., Christoph, V. (2006): Einsatz von Vegetation zur Klimaregulation – Klimagarten Pillnitz. Berichte und Informationen, HWT Dresden, 2/2006, S. 40-44.
- LANUV Arbeitsblatt 29 (2015): Kühlleistung von Böden: Leitfaden zur Einbindung in stadtklimatische Konzepte in NRW. Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen.
- Kovats, R., Kriestie, L. (2006): Heatwaves and public health in Europe. European Journal of Public Health, Vol. 16, Issue 6, December 2006, S. 592-599.
- Takakura, J., Fujimori, S., Takashashi, K., Hijioka, Y., Hasegawa, T., Honda, Y., Masui, T. (2017): Cost of preventing workplace heat-related illness through worker breaks and the benefit of climate-change mitigation. Environmental Research Letters, 12 (2017), IOP Publishing
- Kjellstrom, T., Holmer, I., Lemke, B. (2009): Workplace heat stress, health and productivity – an increasing challenge for low and middle-income countries during climate change. Global Health Action 2019, Vol. 2.
- Rosenzweig, C., Gaffi, S., Parshall, L. (2006): Green Roofs in the New York Metropolitan Region: Research Report. Columbia University Center for Climate Systems Research and NASA Goddard Institute for Space Studies. New York.
- Banya, B., Techato, K., Ghimire, S., Chhipi-Shrestha, G. (2018): A review of Green Roofs to Mitigate Urban Heat Island and Kathmandu Valley in Nepal. Applied Ecology and Environmental Sciences, 2018, Vol. 6, No 4.
- Dunn, A. (2010): Siting Green Infrastructure: Legal and Policy Solutions to Alleviate Urban Poverty and Promote Healthy Communities. 37 B.C. Env'tl. Aff. L. Rev. 41 (2010).
- Senator für Umwelt, Bau und Verkehr Bremen (2016): Förderrichtlinie für die Gewährung von Zuschüssen bei der Begrünung von Dächern bei Großwohnanlagen im Land Bremen. Amtsblatt der Freien Hansestadt Bremen, Nr. 1, Verkündet am 6. Januar 2016.
- Senator für Umwelt, Bau und Verkehr Bremen (2019): Ortsgesetz über die Begrünung von Freiflächen und Flachdachflächen in der Stadtgemeinde Bremen (Begrünungsortsgesetz). Deputation für Umwelt, Bau, Verkehr, Stadtentwicklung, Energie und Landwirtschaft (S), Vorlage Nr. 19, 531.
- Franck, V. (2016): The Roof Water-Farm, Stormwater Management Concept, Retention via Evapotranspiration. Masterthese, Technische Universität Berlin.
- Hewes, W. (2008): Creating Jobs and Stimulating the Economy through Investments in Green Water Infrastructure. Washington DC: American Rivers and Alliance for Water Efficiency.
- Mann, G. (2018): Neuerungen in Sachen Bauwerksbegrünung“, Interne Umfrage von Verbandsmitgliedern zum deutschen Dachbegrünungsmarkt. BUGG (ehemals FBB), In: Der Dachbegrüner, Ausgabe 1, 2018.

Sumpfpflanzendach zur Klimatisierung eines Firmengebäudes



© JenSys

Bei der Projektierung des Firmengebäudes der InnoKlim e.G. wurde ein Schwerpunkt auf minimale Betriebskosten gelegt. Neben den üblichen Maßnahmen zur ausreichenden Dämmung und Beschattung ging es auch darum, die Gebäudekühlkosten zu minimieren.

Joachim Heinrich (JenSys)

Noch spielt die Kühlung von Gebäuden in unseren Breiten eine untergeordnete Rolle, aber die Klimaerwärmung und die daraus resultierenden extremen Wetterlagen zwingen zum Nachdenken über effektive Maßnahmen zum Kühlen von Gebäuden.



„Es lohnt sich auf jeden Fall diesen für die Umwelt wichtigen Ansatz der Gebäudeklimatisierung mit Sumpfpflanzendächern weiter zu verfolgen und die einzelnen Parameter zu optimieren. Eine produzierende Firma, wie die unsere, ist mit so einer Aufgabe aber vollkommen überfordert und muss viel zu oft nachteilige Kompromisse eingehen. Hierfür werden öffentliche Forschungsprojekte benötigt.“

Dr. Joachim Heinrich, Ingenieur

Während für die Beheizung ein über Jahrhunderte gewachsenes Wissen zur Verfügung steht, gilt dies nicht für die Kühlung von Gebäuden. Bisher wurde mehr aus Unkenntnis auf Wärmepumpen und ähnlich gelagerte Kühlsysteme gesetzt. Die natürliche Verdunstungsenergie von Wasser spielt für die Kühlung von Gebäuden zu Unrecht eine untergeordnete Rolle.

Dabei wurde im arabischen Kulturraum schon vor mehreren tausend Jahren die Verdunstungsenergie von Wasser genutzt. Lehmbauten und Springbrunnen in Innenhöfen sorgten für ein angenehmes Wohnklima am Rande extremer heißer Gebiete. Das Hauptargument gegen eine Verdunstungskühlung ist der Wasserverbrauch und der ins Innere von Gebäuden gelangende Wasserdampf bei den klassischen Methoden. Aus diesem Grund haben wir nach einer Lösung gesucht, welche diese Nachteile vermeidet.

Projektgrundlagen

Zunächst haben wir uns mit dem Wasserverbrauch auseinandergesetzt. Dabei wurde schnell klar, dass nur ein Kreislaufkonzept zur Anwendung kommen kann, welches sich aus einer natürlichen Quelle speist. Als Quelle bot sich das Dach des Firmengebäudes an. Normalerweise wird ein Dach so gestaltet, dass das Regenwasser so wenig wie möglich Angriffsfläche hat. Wir sind bewusst den entgegengesetzten Weg gegangen. Dazu wurde eine eigentlich als ungünstig eingestufte Süd-Nord Ausrichtung des Gebäudes gewählt, die Ost-West Seite stark verkleinert und somit in westlicher Richtung langgezogen. Durch diese Maßnahme hat der zumeist aus Westen kommende Regen eine verlängerte Fläche zum Abregnen. Durch von Nord nach Süd verlaufende Querrippen wird dieser Effekt noch verstärkt.

Auf der Nordseite des Daches wurde ein Sumpfpflanzendach realisiert. Auch dieses ist eine ideale Methode zum Auffangen von Regenwasser. Damit es gleichzeitig als Verdunstungsfläche wirken kann, musste die Dachneigung unter 10 ° gesenkt werden, was das Auffangen von Regenwasser weiter optimiert hat.



© JenSys



© JenSys

Das aufgefangene Regenwasser wird in einer 30 m³ Zisterne gesammelt. Durch eine 1 kW-Pumpe wird dieses Wasser auf das Sumpfdach gepumpt und fließt selbständig über die nördliche Regenrinne in die Zisterne zurück. Hierdurch können die Matten des Sumpfdaches kontinuierlich durchfeuchtet werden. Die Versorgung der Pumpe erfolgt durch eine auf dem Süd-Dach montierte Photovoltaik-Anlage mit Batteriespeicher. Der Einsatz der Batterien ist empfehlenswert, um die Nachtkühle auch für das Runterkühlen des Zisternenwassers nutzen zu können.

Eine direkte Kühlung des Gebäudes durch das Dach ist nicht möglich, weil es für die Beheizung ausreichend gedämmt werden musste. Das Einlegen von Kühlleitungen in das Dach war mit erheblichen konstruktiven Problemen verbunden und ist kaum ausreichend zu warten. Als Lösung bot sich eine Deckenheizung an, welche im Winter zum Beheizen und im Sommer zum Kühlen genutzt werden kann. Zum Heizen wird der Wärmespeicher durch eine Pelletheizung erwärmt. Im Sommer wird das Zisternenwasser durch

diesen Speicher gepumpt und kühlt das Wasser der Deckenheizung herunter. Weil das durch die Deckenheizung zirkulierende Wasser in Folge dieser Abkühlung unter der Raumtemperatur liegt, werden alle Räume entsprechend gekühlt.

Zusammenfassung

Mit monatlichen Gesamtbetriebskosten unter 500 € für eine 200 m² große zu klimatisierende Nutzfläche im Firmengebäude wurden die Erwartungen weit übertroffen. Nicht zu verkennen sind aber die deutlich höheren Errichtungskosten, welche eine sehr lange Amortisationszeit voraussetzen, was im Vorfeld gründlich bedacht werden muss.

Trotz einer 30 m³ fassenden Zisterne reicht das Regenwasser in trocknen Sommern nicht immer aus. Es musste ein Kompromiss zwischen der Erhaltung der Pflanzen und dem erhöhten Wasserverbrauch gefunden werden. Die Kosten für den zusätzlichen Wasserverbrauch sind aber deutlich geringer, als die Betriebskosten von Klimageräten. Die Kühlung der Räume stellt hohe Anforderungen an die Ausregelung der Kühltemperatur. Ein zu schnelles Herunterkühlen führt zu einer Durchfeuchtung der Decken und Wände. Besonders der gewohnte Drang zur individuellen Belüftung stellt eine nicht zu unterschätzende Störgröße dar, welche kaum in den Griff zu bekommen ist. Nur durch automatisierte Belüftungssysteme und deren strikte Anwendung werden die Folgen beherrschbar.

KONTAKT

Ingenieurbüro JenSys
 Dr.-Ing. Joachim Heinrich
 In den Satteln 11, 07616 Bürgel
 Telefon: +49 (0)36692 - 37 41 23
 E-Mail: joachim.heinrich@jensys.eu



Technische Daten des Seggenrieddaches

- **Auftraggeber:** Ingenieurbüro JenSys, In den Satteln 11, 07616 Bürgel
- **Baujahr:** 2014
- **Fläche:** 120 m² (Norddachfläche)
- **Dachneigung:** 7 ° Dachneigung (Pulldach)
- **Aufbau:**
 - Bitumendachabdichtungsbahn,
 - Bitumenschweißbahn (Wurzelschutzbahn),
 - Rhizotech-Wasserspeicher- und Pflanzenträgermatte (Polyestervliesstoff)
- **Bepflanzung:** *Caltha palustris*, *Carex acuta*, *Carex panicea*, *Carex pseudocyperus*, *Filipendula ulmaris*, *Gratiola officinalis*, *Iris pseudacorus*, *Iris versicolor*, *Juncus compressus*, *Juncus effusus*, *Juncus ensifolius*, *Juncus inflexus*, *Lysimachia nummularia*, *Lythrum salicaria*, *Mentha cervina*, *Mimulus luteus*, *Mimulus ringens*, *Myosotis palustris*, *Polygonum bistorta*, *Ranunculus flammula*, *Scirpus sylvaticus*, *Valeriana dioica* zweijährig auf den Sumpfdachmatten gärtnerisch vorkultiviert
- **Art der Nutzung:** Klimatisierung des Bürogebäudes
- **Durchgeleitete Wassermenge:** ca. 2 m³/h
- **Ausstattung:** zentrale Bewässerungssteuerung mit Temperatursensor zur Frostabschaltung

Hydrovegetationsdach Westfalzschule Weilerbach



Charakteristik

- **Auftraggeber:** Verbandsgemeinde Weilerbach (Rheinland-Pfalz)
- **Baujahr:** 1999
- **Fläche:** ca. 80 m² und ca. 8 m²
- **Dachneigung:** Flachdach 2 °
- **Aufbau:** Auf dem Baukörper liegt eine wurzelfeste Abdichtung, die mit einem Schutzvlies bedeckt ist. Anschließend verlaufen die Dränschicht und der Filtervlies. Darauf liegen die Vegetationstragschichten und die Vegetation.
- **Bepflanzung:** Seggen, Binsen und verschieden blühende Sumpfpflanzenarten, wie Schwertlilien
- **Art der Nutzung:** WC-Spülung
- **Durchgeleitete Wassermenge:** 12 m³/d
- **Ausstattung:** Regenwasserspeisung über ca. 300 m² Dachfläche, 20 m³ Zisterne

Die Westfalzschule Weilerbach bekam im Jahr 1999 ein mit Sumpfpflanzen besetztes Hydrovegetationsdach mit einer Fläche von zirka 80 m². Dieses Dach wird mit Regenwasser gespeist. Daneben verfügt die Schule auch über ein kleines Wasserdach mit einer Größe von zirka 8 m².



KONTAKT

Verbandsgemeindeverwaltung Weilerbach
Bärbel Domanetzki
Rummelstraße 15, 67685 Weilerbach
E-Mail: baerbel.domanetzki@vg-weilerbach.de
www.weilerbach.de

Einfamilienhaus „Aqua“ in Zofingen – Schweiz

46

Das 2016 gebaute Sumpfpflanzendach dient zur Grauwasserbehandlung, Regenwasserretention und Gebäudekühlung als Teil des Konzeptes eines wasserautarken Wohnhauses.

Das wasserautarke Wohnhaus „Aqua“ in Zofingen verfügt über eine Reinigungskaskade zur Aufbereitung von Grauwasser (Wasser von Dusche, Abwasch und Waschmaschine). Diese Kaskade besteht aus einem Sumpfpflanzendach als zentralem Wasserbehandlungsmodul, einem 70 m² großen Teich mit bepflanzter Uferzone, einem Hochleis-

tungsfiltersystem und einem Vorratstank. Das auf diese Weise behandelte Wasser hat Trinkwasserqualität und wird im Haus verwendet. Das wasserautarke Haus „Aqua“, das vom jungen österreichischen Unternehmen WOHNWAGON (www.wohnwagon.at) geplant und realisiert wurde, konnte nun bereits über zwei Jahre erfolgreich ohne Anschluss an das Wasser- und Kanalsystem betrieben werden. Neben der Wasserreinigung konnten auch relevante Kühleffekte durch erhöhte Verdunstung am Dach nachgewiesen werden.



Grünkläranlage auf dem Dach eines Wohnwagens – Österreich

48

Das 2014 auf einer mobilen, vollautarken Wohneinheit errichtete Sumpfpflanzendach ist ungewöhnlich, hat aber neben seiner Aufgabe zur Reinigung von Grauwasser noch einige weitere Vorteile. So wirkt es als zusätzliche Dämmung und im Sommer durch die Verdunstung des Wassers über die Pflanzen als natürliche Klimaanlage. Der Temperaturunterschied wird auf ca. 10 K geschätzt. Die erreichte Verdunstung erhöht zudem die Effizienz der Photovoltaik-Anlage um zirka 4 % durch den Schutz vor Überhitzung.



Die Installation als vorkultivierte Sumpfpflanzenmatte ist unkompliziert und als Lösung auch für größere Gebäude im urbanen Kontext eine interessante Möglichkeit der Regenwasserretention und Gebäudekühlung.

„Unsere Gründächer sind nicht nur für kleine Einheiten interessant, sondern bieten vor allem auch im Hinblick auf Gebäudekühlung und Wasserreinigung im urbanen Kontext spannende Anwendungsfelder. Und sie schauen einfach toll aus!“

Theresa Steininger, Geschäftsführerin WOHNWAGON

Charakteristik

- **Entwickler:** WW Wohnwagon GmbH
- **Baujahr:** 2014
- **Fläche:** 30 m²
- **Dachneigung:** 3 %
- **Aufbau:** Wurzelfeste Dachisolierung, vorkultivierte Sumpfpflanzenmatte, Stauregler
- **Bepflanzung:** *Caltha palustris*, *Carex acuta*, *Carex riparia*, *Equisetum minima*, *Equisetum palustre*, *Filipendula ulmaria*, *Iris pseudacorus*, *Juncus articulatus*, *Juncus effusus*, *Juncus inflexus*, *Lychis flos cucli*, *Lythrum salicaria*, *Mentha aquatica*, *Symphytum spec.*, *Typha minima*
- **Art der Nutzung:** Grauwasserbehandlung und Klimatisierung
- **Durchgeleitete Wassermenge:** zirka 0,1 m³/d
- **Ausstattung:** Gründach mit Sumpfpflanzenmatte, Photovoltaik-Anlage



© WW Wohnwagon GmbH

KONTAKT

WW Wohnwagon GmbH
Vorderbruck 21a, A-2770 Gutenstein
werkstatt@wohnwagon.at
Telefon: +43 (0)1 961 32 63



Sumpfpflanzendach auf einem Carport

Ob „textilbasierte Dachbegrünungslösung“ oder der wandelbare Garten über der Haustür - ein Sumpfpflanzendach ist eine Bereicherung. Der Artikel gibt Hinweise zu Wasserbedarf und Sicherstellung der Versorgung, Erfahrungen zur Pflege sowie zur Wandlungsfähigkeit des Gesamtsystems.

Jens Mählmann (Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., Chemnitz)

Das Sächsische Textilforschungsinstitut e.V. (STFI), Chemnitz blickt auf eine lange Entwicklung von technischen Textilien als Vegetationsträger für die erdelose Dachbegrünung zurück. Die grundlegenden Untersuchungen zur Entwicklung innovativer textiler Vegetationsträger wurden von BARTL & FUCHS (1998) durchgeführt.

Bereits 1999 konnten erste Umsetzungsvorhaben zusammen mit den Firmen Roche Diagnostics,

Mannheim, Flor-Rekult, Siegfried Ziepeke, Bensheim und der Firma „6 fürs Grün“, Gerd Vogt Gartentechnik, Neunkirchen/Saar verwirklicht werden. Hier kamen foliebasierte grobe Kettengewirke zum Einsatz, die als Verankerungssubstrat für Sumpfpflanzengesellschaften (Helophyten, auch „Repositionspflanzen“) auf einem Flachdach mit Anstaubewässerung dienen (Abb. 1). Neben dem ästhetischen Aspekt stand eine Prozesswasserkühlung im Fokus des Interesses. Das Wasser-

dach wurde aus Furcht der Gebäudebetreiber um die Dichtigkeit des Daches und der erschwerten Pflege nach einigen Jahren erfolgreichen Betriebs wieder zurückgebaut (pers. Mitteilung S. Keller, Fa. Roche Real Estate Services Mannheim GmbH).

KONTAKT

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V. (STFI), Chemnitz
 Dipl.-Biol. Jens Mählmann
 Telefon: +49 (0)371-5274
 E-Mail: jens.maehlmann@stfi.de



Das blaue Haus

Bei einem 2002 fertig gestellten Bürobau, dem „blauen Haus“ in Mühlheim an der Ruhr, bestand die Forderung nach einer Regenwasserversickerung. Trotz innerstädtischer Flächenversiegelung und bindigem Boden löste das Büro für Freiraumplanung Zens, Bottrop diese Herausforderung durch Planung eines Regenwasserspeichers und eines kombinierten Sumpfpflanzendaches mit Anstaubbewässerung in Zusammenarbeit mit der Firma Flor-Recult, Siegfried Ziepeke, Bensheim und dem Sächsischen Textilforschungsinstitut e.V., Chemnitz (Abb. 2). Durch die Verdunstungsleistung der Sumpfpflanzenvegetation wurde das (zwischen gespeichert) Regenwasser effizient dem natürlichen Wasserkreislauf zurückgeführt.



Abb. 1: Flachdach mit Anstaubbewässerung und textilen Vegetationsträgern bei Roche Diagnostics, Mannheim (Fotos: Archiv STFI).



Abb. 2: „Pflanzenklimaanlage“ mittels Flachdach mit Anstaubbewässerung am Beispiel des „blauen Hauses“ in Mülheim an der Ruhr (Fotos: Ulrich Zens).

Darüber hinaus konnte, vor allem im Sommer, eine angenehme Kühlung der unterliegenden Büroräume erreicht werden. Die Dachbegrünungsform auf dem „blauen Haus“ erwies sich als absolut positiv, nachhaltig, innovativ und zukunftsweisend. Die praktische Nutzbarkeit und Kosteneffizienz führ-

ten schließlich zur Prämierung des Projekts mit dem Umweltpreis der Stadt Bottrop. Die begrünte Dachfläche hatte sich bis 2006 gut entwickelt. Durch einen konkursbedingten Besitzerwechsel wurde in der Folge die Pflege des Grüns offenbar stark eingeschränkt. Um 2008 musste ein



Abb. 3: Schrägdachbepflanzung mit textilen Vegetationsträgern am „Öko-Versuchshaus“ in Hainsberg bei Dresden (Fotos: Archiv STFI).

schlechter Zustand der nur noch etwa 15 %-igen Pflanzendecke festgestellt werden – die textilen Vegetationsträger wie auch ein ausreichender Wasserstand waren noch gegeben (pers. Mitteilung Ulrich Zens).

Textilbasierter Vegetationsträger

Weiterführende Entwicklungen des STFI e.V. führten zur Erprobung textilbasierter Vegetationsträger auf Schräg- und Steildächern (Abb. 3) sowie in aktuellen Forschungen zu innovativen Vertikalbegrünungssystemen zum Beispiel für die Begrünung von Lärmschutzwänden oder Fassaden (MÄHLMANN 2016, MÄHLMANN et al. 2018).

Im Folgenden werden Erfahrungen mit einem 2008 nahe Chemnitz errichteten textilbasierten Gründach auf einem Carport dargestellt. Das Dach ist nach Norden ausgerichtet und wird von Süden durch das anstehende Haus beschattet. Die Dachneigung beträgt 2 %. Zum Schutz der Dachhaut,

hier Teerpappe, wurde eine wurzeldichte PVC-Teichfolie eingesetzt, nachdem eine anfänglich eingesetzte einfache Gewebeplane durchwurzelt worden war (Abb. 4).

Bei einem geneigten Dachsystem ohne Anstau-bewässerung stellt die Sicherstellung des notwendigen Bewässerungswassers eine besondere Herausforderung dar: einer Niederschlagsmenge (langjähriges Mittel 1960–1991, Statistisches Bundesamt) von 955 mm (Freiburg i. Br.) bis 512 mm (Leipzig) stehen sommerliche (drei Monate) Verdunstungsleistungen einer Intensivbegrünung von 1.099 L/m² (*Typha latifolia*), 647 L/m² (*Juncus effusus*), 469 L/m² (*Schoenoplectus tabernaemontanii*) und 364 L/m² (*Phragmites australis*) gegenüber (SIEGEL 2008). Darüber hinaus ist im zeitigen Frühjahr während (kurzfristiger) frostfreier Phasen ein erhöhter Wasserbedarf der Pflanzen abzudecken. Der Einsatz von textilen Vegetationsträgern unter Verzicht auf eine Anstau-bewässerung erlaubt jedoch sehr leichte Dachbegrünungssysteme mit einem sehr geringen Schichtenaufbau.

Konstruktion der textilen Vegetationsträger

Als textilbasierte Vegetationsträger wurden ketten-gewirkte Matten verwendet. Die Matten wurden mit Hilfe einer groben Rechts-Rechts-Ketten-wirkmaschine (GWM1200, Fa. Jakob Müller, Frick/CH) hergestellt. Dabei beträgt der Abstand der Abschlagkanten 25 mm, der Nadelabstand 72 mm. Die Wirkmaschine verfügt über zwei unabhängig voneinander ansteuerbare Umkehrschusseinrichtungen, die der vorderen oder hinteren Nadelbarre zugeordnet sind. Über diese können extreme Garne bis zu einem Durchmesser von 35 mm vorgelegt und verarbeitet werden; dabei kamen

- (1) Polypropylen-Spinnvliesstoff (35 g/m²) mit überdeckender Folie als Verdunstungsschutz (PP-SV+F),
- (2) Polypropylen-Spinnvliesstoff ohne überdeckende Folie (PP-SV),
- (3) Polyester-Nadelvliesstoff (80 g/m²) mit überdeckender Folie als Verdunstungsschutz (PES-NV+F) sowie
- (4) wasserstrahlverfestigter Polyestervliesstoff (80 g/m²) mit überdeckender Folie als Verdunstungsschutz (PES-WV+F) als Schussmaterial (Breite 250 bis 500 mm) zum Einsatz (Abb. 5).



Abb. 4: Aufbau der Dachschichten (Teerpappe, Gewebeplane, später ersetzt durch PVC-Teichfolie, textiler Vegetationsträger) und erste Bepflanzung mit Topfballenpflanzen im August 2008 (Fotos: Mählmann).



Abb. 5: Die vier eingesetzten Mattentypen (Fotos: Mählmann).

Die Vliesstoffstreifen im vorderen und Polymermischfolie (Breite 250 mm, Dicke 30 μm) als Verdunstungsschutz im hinteren Schusslegesystem (alternativ ein zweiter Vliesstoffstreifen) wurden durch offene Rechts-Rechts-Fransen eingebunden. Für das maschenbildende Grundfadensystem wurden HD-PE-Wirkfolie-Bändchen (Breite 6 mm; Dicke 30 μm , UV-stabilisiert) verstärkt mit PP-hochfest 4x110 tex-Garn eingesetzt. Die so hergestellten Matten (Abb. 5) mit einer Länge von 5 m und einer Breite von etwa 1 m wiesen eine flächenbezogene Masse von 1.300 g/m^2 auf. Die Anordnung zur vergleichenden Erprobung von textilen Konstruktionen in Doppelversuchen sowie die Lage des Bewässerungssystems ist in Abbildung 6 dargestellt.

Abschätzung des Bewässerungsbedarfes

Die Bewässerung erfolgte mit zwischengespeichertem Niederschlagswasser aus einem Regenwasserspeichersystem mit einem Gesamtvolumen von 9 m^3 . Mittels einer einfachen Zeitschaltuhr wurde eine handelsübliche Tauchwasserpumpe (Fa. Ergotools, Typ E-KTP 3070; Motorleistung 300 W; max. Fördermenge 7.000 L/h; max. Förderhöhe 6 m) angesteuert (Abb. 7).

Die Wasserverteilung erfolgte anfänglich über ein Tropfschlauch-System (Fa. Rain Bird, Aix en Provence/F) später, ab 2012, über ein Gardena-Microdrip-System mit drei Tropfern je Matte jeweils am Kopfende und etwa auf der Hälfte (in Gefällrichtung) der 5 m langen Matten (Gesamtfläche (40 m^2) (Abb. 6). Schließlich, 2016, wurden die Tropfer auf Grund häufiger Verstopfung durch Feinpartikel und einwachsende Wurzeln entfernt. Pro Tag wurden in 2013 im Mittel ca. 381 L Bewässerungswasser gefördert. Ein typisches Bewässerungsintervall bestand aus drei Stunden Pause und einer Stunde Bewässerung also sechs Bewässerungen pro Tag mit jeweils ca. 63,5 L. Damit liefen im vollgesättigten Zustand rechnerisch maximal 95,25 L ab. Bei Niederschlägen erhöhte sich die Abflussmenge um maximal 26 mm. Das entspricht einem zusätzlichen Abfluss von 173 L.

Wasserverluste (Transpiration, Verdunstung, Pflanzenaufnahme, sonstige Verluste) wurden mit 2,26 $\text{L}/\text{m}^2/\text{d}$ und in der Spitze mit maximal 9 $\text{L}/\text{m}^2/\text{d}$ quantifiziert. Das entspricht also für die gesamte Dachfläche von 40 m^2 einem Verlust von 3,7 L/h bis 15 L/h, um die der Abfluss vermindert würde. Damit sind in der Regel 92 L bis 80 L während einer Bewässerungseinheit (1 h) bereit

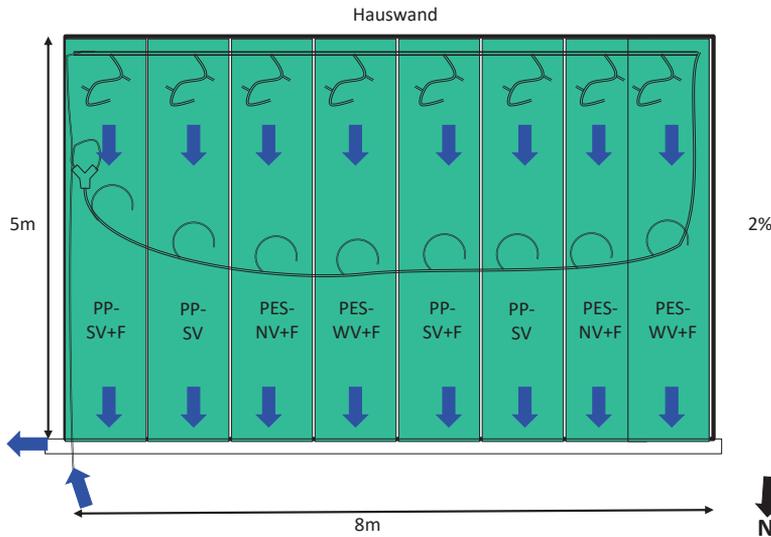


Abb. 6: Schema der Carport-Dach-Bewässerung (5x8 m; 2%) mit Gardena-Micro-Drip-System und Anordnung der Mattenvarianten (Skizze: Mählmann).

zu stellen (1,5 L/min bis 1,3 L/min). Für die Jahre 2011 bis 2013 wurde eine mittlere Evapotranspirationsrate von 0,90 L/m²/d (2011), 0,86 L/m²/d (2012) und 2,26 L/m²/d (2013) aus der täglich erhobenen Wasserbilanz ermittelt (eigene Daten, unveröffentlicht).

Eine Abschätzung mittels eines Penman-Monteith-Modells mit einem durchschnittlichen Verdunstungstagesgang bei einer Tagessumme von zirka 4 mm Verdunstung pro Tag ergab für das Carport-Dach bei 40 m² Grundfläche zirka

153 L/d Austrag durch Verdunstung, die ausgeglichen werden müssen.

Nach Untersuchungen von MANN (2008) werden etwa 200 L/m²/Vegetationsperiode verdunstet. Das entspricht einer Verdunstungsrate von 0,82 L/m²/d bezogen auf 243 Tage und stellt nach den oben gemachten Beobachtungen sicher eine Untergrenze dar.

Im Beispiel Carport-Dach wirkte sich die sehr einfache Steuerung über eine Zeitschaltuhr mit festen Schaltzeiten insofern ungünstig aus, als dass

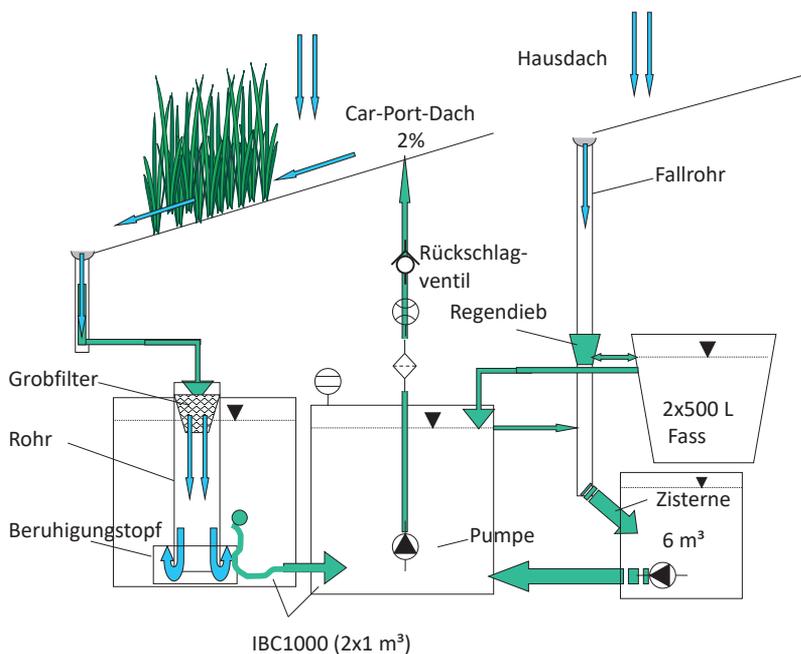


Abb. 7: Hydraulikplan für Carport-Dach-Bewässerung (Skizze: Mählmann).

häufig über Bedarf bewässert wird. Ebenso wurde auch nach oder während Niederschlagsereignissen bewässert. Allerdings wirkt sich dieser Effekt lediglich ungünstig auf die Energiekosten aus, da die eingesetzten Helophyten und die sich ausbildende Vegetation auch mögliche Staunässe tolerieren. Wasserhaushalterisch besteht hier kein Problem, da das Überschusswasser wieder in die Bewässerungszisterne zurückgeführt wird.

Die maximale Wasseraufnahme von PP-Spinnvlies-Matten wurde mit $6,3 \text{ L/m}^2$ ermittelt. Im Vergleich dazu erreichten PES-Randstreifenmatten, bei gleicher Trockenmasse, mit einer initialen Speicherkapazität von rund 14 L/m^2 die doppelte Kapazität. Durch eine hydrophile Ausrüstung der PP-Matten konnten diese ebenso viel Wasser aufnehmen, wie die PES-Randstreifen-Matten. Nach zwei Stunden hängendem (vertikalem) freiem Abtropfen enthielten die PP-Matten noch 28,5 %; die PES-Randstreifenmatten noch 26,3 %. Die höchsten Feldkapazitäten nach 72 Stunden Abtropfen bei $20 \text{ }^\circ\text{C}$ und 60 % rel. Luftfeuchte wurden von PES-Randstreifen-Matten (53 %) erreicht.

In den vergangenen Jahren konnte der Wasserbedarf vollständig aus dem zwischengespeicherten Regenwasser gedeckt werden. Auch bei zumeist kurzzeitigen, 2018 auch länger anhaltend, hochsommerlichen Trockenperioden einhergehend mit einer die Bewässerung übersteigenden Verdunstung und einem Mangel an gespeichertem Regenwasser, erfolgte keine Bewässerung aus dem Trinkwassernetz. Trotzdem konnte die Vegetation weitgehend erhalten bleiben.

Auf Grund des im Vergleich zu den mächtigen Substrataufbauten herkömmlicher Dachvegetationslösungen geringen Wasserspeichervermögens dünnschichtiger textiler Vegetationsträger ist eine technische, zuverlässige Bewässerung mittels Pumpensystem und Steuerung notwendig. Diese technischen Voraussetzungen führen zu der Notwendigkeit, das System im Winter bei Frostgefahr vollständig zu entleeren. Im Frühjahr, bei zum Teil höheren Plusgraden am Tag und häufig herrschenden (Nacht-)Frosteinbrüchen kommt dieses System während des gleichzeitig hohen Wasserbedarfs der austreibenden Kräuter an seine Grenzen. Ebenso kann es im Hochsommer zu Trockenperioden kommen. Bei entsprechend aufgewachsener

Pflanzendecke und/oder starken Moospolstern wird dieses Problem durch einen guten Feuchtespeicher im Gesamtsystem stark abgemildert. Somit waren die in den vergangenen Jahren beobachteten Vegetationsunterschiede im Deckungsgrad weniger auf die eingesetzten Materialien und Matten-Konstruktionen zurückzuführen, sondern vielmehr auf unterschiedliche Sonneneinstrahlungen auf den westlichen Mattenbereichen, sowie Bewässerungsausfällen vor allem in der unteren Dachhälfte (Abb. 8).



Abb. 8: Trockenschäden durch Bewässerungsfehler (oben) Juli 2010, (unten) Juli 2014 (Fotos: Mählmann).

Pflanzenauswahl

Bei der Erstbepflanzung 2008 mit Topfballenpflanzen wurden in einer Dichte von durchschnittlich 11 Pflanzen/m² folgende Arten (Hauptarten fett) gesetzt:

Sumpfdotterblume (*Caltha palustris*), **Sumpfssegge** (*Carex acutiformis*), **Schlanke Segge** (*Carex gracilis*), **Fuchssegge** (*Carex vulpina*), **Hartmanns Segge** (*Carex hartmanii*), **Sumpfschwertlilie** (*Iris pseudo-corus*), **Flutter-Binse** (*Juncus effusus*), **Blaugrüne Segge** (*Juncus inflexus*), **Kuckuckslichtnelke** (*Lychnis flos-cuculi*), **Blutweiderich** (*Lythrum salicaria*), **Echtes Mädesüß** (*Filipendula ulmaria*), **Gauklerblume** (*Mimulus luteus*), **Sumpfvergissmeinnicht** (*Myosotis palustris*) und **Flammender Hahnenfuß** (*Ranunculus flammula*). Die ausgewählten Pflanzen zeichnen sich durch einen ästhetischen Aspekt auch im Herbst und Winter bei einer gestuften Wuchshöhe von maximal (*Lythrum* und *Iris*) 100 cm aus. Mit *Carex acutiformis*, *Juncus effusus* und *Juncus inflexus* wurden auch bedingt wintergrüne Pflanzen gewählt. Ein Pflegeschnitt erfolgte im späten Frühjahr um Insekten im Winter Rückzugsmöglichkeiten und Vögeln damit eine natürliche Nahrungsgrundlage zu bieten. Nach dem Auflaufen der ersten Kräuter

waren dann auch Birken-, Weiden- und Fichtenschösslinge erkennbar, jedoch noch nicht soweit ausgewachsen, dass sie sich nicht mehr hätten entfernen lassen. Ab 2010 wurden statt der Verwendung von Topfballenpflanzen bei nachzusetzenden Ersatzpflanzungen eine herbstliche oder frühjährliche Aussaat mit „Ufermischung“ der Fa. Rieger-Hofmann GmbH, Blaufelden-Raboldshausen, nach Anwendungsempfehlung durchgeführt. Etwa 2015 und in den Folgejahren vollzog sich ein Aspektwechsel von einer von Sumpfpflanzen dominierten Vegetation zu einer von Moosen dominierten Vegetation. Die Ursache lag vermutlich in einer ausgesetzten Nachbepflanzung/-saat von Sumpfuferpflanzen und der insgesamt nährstoffarmen Bewässerung mit Regenwasser (Abb. 20).

Vorteile textiler Vegetationsträger

Bei einer aufwachsenden Biofrischmasse von etwa 2 kg/m² ergibt sich eine Gesamtflächenbelastung von ca. 10 kg/m² im wassergesättigten Zustand. Mit einer für Chemnitz gerechneten Schneelast von 1,456 kN/m² ergibt sich damit eine maximale Gesamtlast von 160 kg/m². Damit ist diese Leichtkonstruktion auch für die Begrünung von Leichtdächern ohne einen besonderen Unterbau geeignet.



Abb. 9: Austausch der Wurzelschutzfolie (beschichtete Gewebeplane gegen PVC-Teichfolie) im April 2009 (Foto: Mähmann).



Abb. 10: Die textilen Vegetationsträger bilden mit der aufwachsenden Vegetation einen engen Verbund; hier gut zu erkennen, die bewurzelte Rückseite einer Matte (April 2009) (Foto: Mählmann).

Ein weiterer Vorteil der textilen Tragschicht liegt in der Rollbarkeit (auch mit Pflanzen). Bei einer gerollten Lagerung von wenigen Stunden erholen sich in der Regel auch größere Pflanzen. Damit bleibt die Zugänglichkeit der Dachhaut für Wartungs- oder Reparaturarbeiten erhalten (Abb. 9). Die textilen Vegetationsträger bilden ein gutes Substrat für die Verankerung der Pflanzen (Abb. 10). Sie sind vollständig durchwurzelt und halten auch Feuchtigkeit und Nährstoffe hinreichend zurück. So muss nur einmal im Frühjahr (üblicherweise im April/Mai, nach den Frühjahrsniederschlägen) mit einem Langzeitdünger in üblicher Aufwandsmenge gedüngt werden.

Die Matten sind nach nun über zehn Jahren Liegedauer immer noch funktionsfähig und weisen keine erkennbaren Schäden auf. Hier stellte die Vegetationsbedeckung offenbar einen wirkungsvollen Schutz gegen den UV-Angriff dar. Im Laufe der Liegedauer mussten jedoch alle Matten um ca. 25 cm abgelängt werden. Die Längung ist eine natürliche Folge bedingt durch die nachlassende Strukturelastizität des Maschengebildes.

Vegetationsentwicklung

In den folgenden Abbildungen ist exemplarisch chronologisch die Vegetationsentwicklung auf den textilen Vegetationsträgern dargestellt.



Abb. 11: Winteraspekt im November 2008 (Fotos: Mählmann).



Abb. 12: (links) Winteraspekt November 2008, (Mitte, rechts) Sommeraspekt Juli 2009 (Fotos: Mählmann).



Abb. 13: Mädesüß (*Filipendula ulmaria*), Seggen (*Carex sp.*) und Blutweiderich (*Lythrum salicaria*) als Charakterarten im Mai 2009 (Foto: Mählmann).



Abb. 14: Binsen-Blüten (*Juncus sp.*) im Winter (Dezember 2009) (Foto: Mählmann).



Abb. 15: Das Vegetationskonzept erfordert ein regelmäßiges (jährliches) Entfernen von unerwünschter Wildvegetation, hier vor allem Birken- und Weidenschösslinge, Juli 2010 (Foto: Mählmann).



Abb. 16: Erste großflächig dicht auftretende Moospolster im September 2012 (Foto: Mählmann).



Abb. 17: Teilweise dichte Bestände von Sumpf-Helmkraut (*Scutellaria galericulata*) im Juni 2014 (Fotos: Mählmann)



Abb. 18: Bunte Sumpfpflanzen-Dachwiese und Bienenweide mit Blutweidereich (*Lythrum salicaria*), Schafgarbe (*Achillea millefolium*) und Sumpf-Hornklee (*Lotus pedunculatus*) im Juli 2014 (Foto: Mählmann).



Abb. 19: Dichter Moosteppich im Mai 2015 (Fotos: Mählmann).



Abb. 20: (links) Juni 2014 Aspektwechsel (ca. 2015) von Sumpfpflanzen-dominierter Vegetation zu (rechts) Juni 2017 Moos-dominierter Vegetation, vermutlich infolge ausgesetzter Nachbepflanzung/-Saat von Sumpf-/Uferpflanzen und der nährstoffarmen Bewässerung mit Regenwasser (Fotos: Mählmann).



Abb. 21: September 2017 von Moosen dominierte Vegetation (Fotos: Mählmann).

LITERATUR

- Bartl, A.-M.; Fuchs, H. (1998): Innovative Textilstrukturen für Pflanzenträger. Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., Schlussbericht BMWi 51/97.
- Mann, G. (2008): Gelungenes Fassadenbegrünungssymposium mit tollen Vorträgen aus Forschung und Praxis. 1. FBB-Symposium Fassadenbegrünung in Remscheid
- Mählmann, J. (2016): Entwicklung neuartiger textiler Begrünungssysteme zur Vertikalbegrünung (Hängende Gärten). ZIM KF2034060SL3 Abschlussbericht, STFI e.V., Chemnitz
- Mählmann, J.; Helbig, R.; Thiele, E.; Seeger, M. (2018): Agrartextilien der Zukunft. 5. Trendbook Technical Textiles 2018/2019, Deutscher Fachverlag, Frankfurt/Main, S.63–67.
- Siegel, A. (2008): Grüne Klimaanlagen – Untersuchung der klimaregulierenden Leistungen von Pflanzen zur Verbesserung der Lebensqualität. biGaLaBau 5+6/08, S. 53.
- Zens, U. (2019): The World needs Gardeners. https://medium.com/@uli_82310/the-world-needs-gardeners-7dc78d710db2 (aufgerufen am 10.04.2019).



Langzeiterfahrungen mit einem textilbasierten Sumpfpflanzendach

Rolf Arnold und Jens Mählmann (Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., Chemnitz)

Die Entwicklung von textilen Vegetationsträgern am Sächsischen Textilforschungsinstitut e.V. (STFI) geht auf grundlegende Untersuchungen von BARTL & FUCHS (1994) zum Verarbeitungsverhalten von streifenförmigen textilen Recyclingmaterialien bei der Herstellung grober Gewirke zurück. Ziel war es, hochwertige, textile, streifenförmige Abfälle, wie sie typischerweise bei der Herstellung von Geweben, Gewirken, Vliesstoffen und Beschichtungswaren in großem Umfang anfallen, einer Nutzung und Weiterverwendung zuzuführen. Die Herausforderung bestand darin, aus den gefachten oder lutenartig vorverdichteten, großvolumigen „Fäden“ mittels entsprechend modifizierter Wirkorgane und angepasster Fadenlegeorgane eine zuverlässige Maschenformung zu erreichen oder diese entsprechend als Schuss einzubinden. Hierbei mussten Erfahrungen zu den Zusammenhängen zwischen der „Fadenstruktur“, dem Verarbeitungsverhalten und den Eigenschaften der Gewirke gesammelt werden. Schon bei diesen Entwicklungen wurden Landwirtschaft, Gartenbau und Geotechnik als potentielle Anwendungsfelder für die neuartigen Recyclingstrukturen gesehen. Eine Übersicht über die erreichten technologischen Ergebnisse ist in Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt.

Für erste Versuche zur Anwendung dieser Matten aus Textilrecyclingmaterialien kamen sogenannte

Repositionspflanzen (ZIEPKE 1993) zum Einsatz. Dabei handelt es sich um Helophyten (Sumpfpflanzengesellschaft), die nach ZIEPKE (1992, 1993) in besonderem Maße geeignet sind, Wasser zu sammeln, zu reinigen, zu versickern, dem Klima- und Bodenschutz sowie der Rohstoffgewinnung zu dienen. Sie zeichnen sich durch eine besonders starke Wurzelausbildung aus. Zur Erleichterung der Anwuchsbedingungen können diese Pflanzenarten in Vegetationsfaschinen eingepflanzt oder vorkultiviert werden, um exponierte, schwer bepflanzbare Ufer, Bermen und Vorfluter zu sichern und zu begrünen (ZIEPKE 1993). Darüber hinaus erlauben textile Vegetationsträger den Aufbau einer intensiven erdelosen Dachbegrünung. Die grundlegenden Untersuchungen zur Entwicklung innovativer textiler Vegetationsträger wurden von BARTL & FUCHS (1998) durchgeführt und mündeten in einer erfolgreichen Überführung in die industrielle Produktion unter dem Markennamen REPOTEX® der Firma Sächsische Netzwerke Huck GmbH, Heidenau.

Während für den herkömmlichen mehrschichtigen Substrataufbau extensiver Dachbegrünung Flächenmassen von 40 bis 120 kg/m² erreicht werden, erlaubten die Gewirkestrukturen des REPOTEX®-Systems mit eingearbeiteten saugfähigen Materialien Flächenmassen von 3 kg/m² im trockenen und von maximal 15 kg/m² im wasser-

Tab. 1: Übersicht über technologische Ergebnisse zur Randstreifenverarbeitung; ergänzt nach BARTL und FUCHS (1994)

Maschinentyp	Nadeltyp	Anwendung
KEMAFIL®-Technik (Typ 3601, SL Spezialnähmaschinenbau Limbach GmbH & Co. KG, Limbach-Oberfrohna)	Greifer	<ul style="list-style-type: none"> Ummantelung von Randstreifen, Fäden mit Durchmessern bis max. 70 mm
Rechts/Links-Spezialwirkmaschine (modifizierte MC180, Boegli Maschinenfabrik AG, Aarwangen/CH)	Zungen-Nadeln, Kopfdurchmesser 1 mm	<ul style="list-style-type: none"> Verarbeitung von Randstreifen im Stehschuss, Teil- und Durchschuss bis maximal 8 mm im Durchmesser
Nähwirkmaschine (Typ Malimo, Textima, Chemnitz)	Schieber-Nadeln mit Spitze	<ul style="list-style-type: none"> Verarbeitung von Randstreifen im durchgehenden Parallelschuss oder Diagonalschuss Verarbeitung von Seilen (bis 14 mm im Durchmesser) im Stehschuss
Grobe Rechts/Rechts-Sonderkettenwirkmaschine (Vorläufer GWM1200, Jakob Müller, Frick/CH)	Extrem große Zungen-Nadeln, Kopfdurchmesser 4 mm	<ul style="list-style-type: none"> Verarbeitung von Randstreifen im Grundfadensystem bis 18 mm im Durchmesser Teil- und Stehschuss bis 14 mm im Durchmesser Durchschuss bis maximal 25 mm im Durchmesser



Abb. 1: Montage einer Dachvegetation mit textilen Vegetationsträgern am „Öko-Versuchshaus“ in Freital-Hainsberg bei Dresden (Fotos: Archiv STFI).

gesättigten Zustand. Damit war diese Konstruktion für Leichtdächer geeignet und erlaubte durch fehlendes körniges Substrat auch schon früh die Begrünung von Schräg- und Steildächern.

Im Rahmen von Extremversuchen erfolgten 1997 die Begrünungen eines pultförmigen Schrägdaches mit einer Dachneigung von 30 ° sowie 1998 eines Steildaches des „Öko-Versuchshaus“ der TU-Dresden mit einer Neigung von 45 ° (BARTL & FUCHS 1994, BARTL et al. 1994). In beiden Fällen wurde der vorhandene Dachbelag (Schindeln) mit Wurzelschutzfolie abgedeckt und anschließend mit 40 cm breiten, in flachen Folieteichen vorkultivierten REPOTEX®-Matten belegt (Abb. 1). Die Gesamtfläche betrug etwa 10 m².

Die neuartige Textilstruktur ermöglicht eine intensive Durchwurzelung mit Repositionspflanzen (Abb. 2). Für die erprobten textilen Pflanzenträger wurden in einer Dichte von 6 bis 10 Pflanzen/m² die nahezu erdelos kultivierten FLOR-REKULT Logatainer®-Repositionspflanzen mit Flachkeilballen [L] sowie Phytolyse-Pflanzen [P] und Phytolyse-Starter-Pflanzen [PS] der Firma FLOR-REKULT, Bensheim, eingesetzt: Sumpfesegge (*Carex acutiformis*) [P], Steife Segge (*Carex elata*) [PS, L], Schlanke Segge (*Carex gracilis*) [P, PS, L], Rispen-Segge (*Carex paniculata*) [P, PS], Ufersegge (*Carex*

riparia) [P, PS], Schnabelsegge (*Carex rostrata*) [P], Blasensegge (*Carex vesicaria*) [P, PS, L], Fuchs-Segge (*Carex vulpina*) [P, PS, L] und die Waldsimse (*Scirpus sylvaticus*) [P, PS, L].

Zur Befestigung im Bereich des Dachfirstes wurden in die Oberkante der Matten Haltestäbe (3/4“ verzinktes Wasserrohr) eingearbeitet. Diese wurden ohne weitere Verankerung in vorhandene Reparaturhaken im Firstbereich eingehängt (Abb. 3).



Abb. 2: Durchwurzelter textiler Vegetationsträger zur erdelosen Dachbegrünung (Foto: Archiv STFI).



Abb. 3: Befestigung der textilen Vegetationsträger im Firstbereich eines Steildaches (Fotos: Archiv STFI).

Bei einer Dachbegrünung mit Repositionspflanzen unter Verwendung von REPOTEX® (Abb. 4) muss ein ausreichend großer Regenwassersammler (hier 600 L) vorhanden sein. Die Bewässerung erfolgte aus dem Regenwasserspeicher im Intervallbetrieb aller drei Stunden über 15 Minuten und wurde über einen 3/4“ Schlauch mit Rückschlagventil sowie Verteilern mit 6 mm Nennweite im Abstand von 10 cm realisiert. Das Restwasser wurde über die Regenrinne in den Speicher zurückgeführt.

Die Begrünungsversuche zeigten, dass für die Bewässerung von 1 m² REPOTEX® das Regenwasser von etwa 2 m² Dachfläche gesammelt werden muss. In Folge eines Stromausfalls nach dem Hochwasser 2003, bei dem ein erheblicher Teil der Dachvegetation vertrocknete, wurde 2004 mittels eines relaisgesteuerten Magnetventils eine Notwasserversorgung über Trinkwasser nachgerüstet und eine Ergänzungs-/Ersatzpflanzung durchgeführt (Abb. 5).



Abb. 4: Schrägdachbepflanzung mit textilen Vegetationsträgern am „Öko-Versuchshaus“ in Hainsberg bei Dresden, 2001 (Fotos: Archiv STFI).



Abb. 5: links: Vegetationsstatus 2002; rechts: 2011 - Entwicklung nach Hochwasserschaden 2003 (Fotos: Archiv STFI).

Gegen 2015 wurde aus Kapazitätsgründen die regelmäßige Betreuung der Dachvegetation eingestellt, insbesondere erfolgte keine (technische) Bewässerung mehr (Abbildung 6). Trotzdem hat sich eine Vegetation, dominiert von *Geranium robertianum* (Stinkender Storchenschnabel), Farnen, Gräsern und anderen Kräutern, erhalten können (Abb. 6).

Nach nunmehr 25 Jahren Standzeit zeigen sich jedoch auch erste sichtbare Alterungserscheinungen an den Vegetationsträgern (Abb. 7). Trotz der offenkundigen Schäden zeigte eine Kontrolle eine weiterhin hinreichende Stabilität des textilen Vegetationsträgers. Degradationen waren ausschließlich an den (mehrjährig) vegetationsfreien Flächen zu beobachten. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei einer regelmäßigen Bewässerung und Vegetationspflege der natürliche Witterungsschutz einer weitgehend geschlossenen Sumpfpflanzendecke einen hinreichenden Schutz für den textilen Vegetationsträger darstellt.



Abb. 6: Aspektwechsel vier Jahre nach Einstellung der technischen Bewässerung, (2019) (Fotos: Archiv STFI).

KONTAKT

Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V.
(STFI), Chemnitz
Dipl.-Biol. Jens Mählmann
Telefon: +49 (0)371-5274
E-Mail: jens.maehlmann@stfi.de





Abb. 7: Erste Alterungserscheinungen an den textilen Vegetationsträgern nach 25 Jahren Standzeit, (2019) (Fotos: Archiv STFI).

LITERATUR

- Arnold, R.; Fuchs, H.; Bartl, A.-M.; Hufnagl, E.; Arnold, E. (2000): REPOTEX – Neuartige textile Pflanzenträgermatten für die ökologische Gestaltung von Wasserbauwerken und Dachflächen, Tagungsband 4. Sächsisches Bautextilien-Symposium „Bautex 2000“, Chemnitz.
- Bartl, A.-M.; Fuchs, H. (1994): Grundsätzliche Untersuchungen zum Verarbeitungsverhalten von streifenförmigen textilen Recyclingmaterialien bei der Herstellung grober Gewirke. Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., Schlussbericht AIF 9143B.
- Bartl, A.-M.; Arnold, R.; Hufnagl, E. (1994): Untersuchungen zum Einsatz von Textilabfällen in groben Recyclinggewirken als Pflanzenträger, Technische Textilien/Technical Textiles, 37, 7/8.
- Bartl, A.-M.; Fuchs, H. (1998): Innovative Textilstrukturen für Pflanzenträger. Sächsisches Textilforschungsinstitut e.V., Schlussbericht BMWi 51/97.
- Ziepke, S. (1993): Pflanzen können helfen Umweltprobleme zu lösen. TASPO 38.
- Ziepke, S. (1992): Pflanzen im Sumpf. In: *Deutscher Gartenbau* 26, S. 1576–1577.

Das Moor auf dem Dach? Tastversuche und Visionen



Durchflutete, dünn-schichtige Dachbegrünungen können als zusätzliche Filterfläche in den Wasserkreislauf von Schwimmteichen integriert werden, was interessante Gestaltungsoptionen eröffnet.

Wolfram Kircher, Andreas Thon (HS Anhalt)

© Kircher / Thon

An der Hochschule Anhalt in Bernburg wurden einige Tastversuche mit Moorpflanzen durchgeführt (Titelbild). Aus deren Ergebnissen sowie Erfahrungen mit weiteren Moorpflanzen auf flachgründigen Substratschichten wird eine Empfehlungsliste zur möglichen Artenauswahl für nasse Dachbegrünungen abgeleitet, die mit eher nährstoffarmem Wasser versorgt werden.

Dachgärten als Filter für Schwimmteiche

Seit den 1980er Jahren haben sich Schwimmteiche als chemiefreie Alternativen zu chlorbehandelten Pools immer weiter in Privatgärten verbreitet. Die Aufbereitung des Wassers erfolgt heute weniger über die Bepflanzung, als über durchströmte Filterzonen mit bestimmten Substraten.

In Anlehnung an Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von privaten Schwimm- und Bädeteichen der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau (FLL) 2017, werden fünf Typen von Schwimmteichen unterschieden:

- | | |
|-------|--|
| Typ 1 | Ohne Technik, Wasseraufbereitung über dicht bepflanzte, überstaute Zonen (Hydrobotanische Systeme) |
| Typ 2 | Mit Oberflächenströmung bzw. –reinigung (Skimmer) und Hydrobotanischem System |

- Typ 3 Mit langsam durchströmtem, bepflanzttem Substratfilter (Technisches Feuchtgebiet) und nachgeschaltetem Hydrobotanischen System
- Typ 4 Mit schnell durchströmtem, meist vegetationsfreiem Substratfilter, Pflanzen dienen überwiegend zur Dekoration
- Typ 5 Ausgelagerte technische Filtereinheiten, Pflanzen dienen überwiegend zur Dekoration

Von 2007 bis 2010 wurden an der Hochschule Anhalt Versuche zur Bepflanzung von Technischen Feuchtgebieten – allerdings ohne nachgeschaltetes Hydrobotanisches System – als Filter von privaten Schwimmteichen durchgeführt (THON 2014; THON et al. 2010, KIRCHER & THON 2015). Neben diesen Parzellen wurden als Tastversuch sechs Varianten von Modellen durchströmter, dünn-schichtiger Dachbegrünungen getestet. Da häufig die Fläche von Privatgärten der begrenzende Faktor für die Teichdimensionierung ist, sollten Möglichkeiten zur Auslagerung der Filterzone auf Dachflächen ausgelotet werden.

Schwimmteiche mit durchströmten Filterzonen (Typ 3–5) zeichnen sich in der Regel durch oligotrophe Verhältnisse aus, wobei insbesondere der Gehalt an gelösten Phosphorverbindungen minimiert werden soll. Nach FLL (2017, S. 33) ist ein Gesamt-P-Gehalt von unter 0,03 mg/l (Typ 1–3) bzw. sogar unter 0,01 mg/l (Typ 4–5) anzustreben. Durch Denitrifizierung ist meist auch der Gehalt an gelöstem Stickstoff sehr gering. Während die unerwünschte Algenbildung durch P-Minimierung unterbleibt, wird für das erwünschte Makrophytenwachstum besonders die Stickstoffminimierung zum begrenzenden Faktor.

In Schwimmteichen der Typen 4 und 5 fehlen Pflanzen oft komplett oder werden nur als Dekoration eingesetzt. In Typ-3-Teichen dagegen spielt die Bepflanzung in Kombination mit langsam durchströmten Sandfiltern eine wichtige Rolle. Meist werden Helophyten von eutrophen oder mesotrophen Naturstandorten verwendet (KIRCHER 2007). Ein suboptimales Wachstum im N-armen Schwimmteich lässt sich dann nur durch entsprechende Düngung vermeiden, wofür meist Harnstoff empfohlen wird. In den unten beschriebenen Bernburger Versuchen sollte hierauf verzichtet werden. Es wurden daher besonders Pflanzen oligotropher Moore (Arm-Moore) getestet. Diese Arten sind von geringerer Aufwuchshöhe als Arten von Reichmooren und erschienen daher für

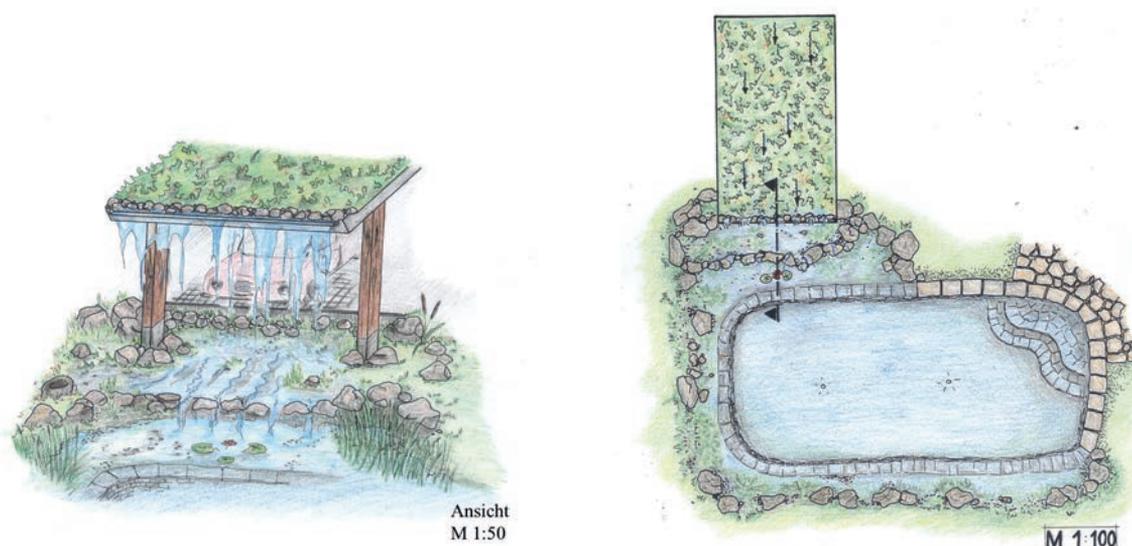


Abb. 1: Carport mit Dachgarten-Filter am Schwimmteich, Ansicht und Draufsicht (Zeichnung: C. Weinreich, HS Anhalt).



Abb. 2: Gestaltungsvorschlag für einen Schwimmteich mit flachgründiger Moorvegetation als Filterzone auf umgebender Dachfläche (Zeichnung: Wendorf, 2003). Der Schwimmteich ist mit dicker Betonwandung quasi als „Zimmer“ in das Gebäude integriert und über die Dachfläche zugänglich.

dünnschichtige Dachbegrünungen besser geeignet. Einige Beispiele sind in den Abbildungen 3 bis 10 dargestellt, wobei mit *Liatrix spicata* und *Lythrum salicaria* auch höher wüchsige Arten aufgenommen wurden, die aber nur punktuell in die niedrige, gräserdominierte Vegetation eingestreut werden sollten, um für ein ansprechendes Relief zu sorgen.

In Schwimmteichen wird, besonders bei den Typen 4 bis 5, ein pH-Wert über 8 empfohlen, um die Bindung von gelöstem Phosphor zu optimieren, was Kalk-Moor-Arten prädestiniert erscheinen lässt. Teiche der Typen 1 bis 3 dagegen können auch mit deutlich niedrigerem pH-Wert gute Wasserqualitäten aufweisen (KIRCHER & THON 2016: 237 ff). In solchen Anlagen kann sogar Vegetation von Hochmooren bzw. sauren Niedermooren interessant sein.

Gestaltungsbeispiele

Nach unserer Kenntnis ist die Idee, durchflutete Dachbegrünungen mit Schwimmteichen zu kombinieren noch nicht in der Praxis angekommen, obwohl damit sehr schöne Gestaltungsideen für Privatgärten denkbar wären. Eher flache Dächer oder leichtes Gefälle bis maximal 15° sind dabei zu empfehlen, wie sie oft bei Geräteschuppen, Garagen oder Carports vorliegen. Die Zeichnungen von Abbildungen 1 und 2 sollen das Potential verdeutlichen.

Die in Abbildung 1 dargestellte Variante bewirkt hohe Wasserverluste. Der Abfluss kann aber auch entlang einer Glasscheibe als „Wasserwand“ geführt oder in einer Rinne gesammelt und über ein Fallrohr in den Schwimmteich geleitet werden.



Abb. 3 bis 5: Kleingräser für flachgründige Moor-Standorte: links (3) *Carex davalliana*, Mitte (4) *Schoenus ferrugineus*, rechts (5) *Trichophorum alpinum* (Fotos: Kircher/Thon).



Abb. 6 bis 8: Blütenschönheiten für flachgründige Moor-Standorte:
links (6): Knabenkräuter (*Dactylorhiza*-Hybriden) blühen von Mai-Juni. Mitte (7): Eine ähnliche Fernwirkung wie Knabenkräuter besitzen die nordamerikanischen *Liatris spicata*, deren Blüten im Juli folgen.
rechts (8): Der Blutweiderich (*Lythrum salicaria*) schließt das „vertikale Rosa“ von August bis September ab (Fotos: Kircher/Thon).

Forschung zur Vegetation an Schwimmteichen

*Das FH3-Forschungsprojekt „Vegetation an Schwimmteichen in Kombination mit kühlungsaktiven Dachbegrünungen bzw. Steinanlagen als Bodenfilter“ an der HS Anhalt in Bernburg wurde von 2007 bis 2010 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert und unterstützt von den Projektpartnern Balena GmbH, Gemmingen und Petrowsky-Wasserpflanzen, Eschede. Wesentliche Ergebnisse sind in der Dissertation von THON (2014) beschrieben.

Förderkennziffer: 17 09X 06

Versuche in Bernburg

Von 2004 bis 2012 wurden an der HS Anhalt in Bernburg mehrere Tastversuche durchgeführt, die darauf abzielten, Moorpflanzen auf dünn-schichtigen Substraten zu kultivieren bzw. deren Eignung für Sumpfpflanzendächer in Verbindung mit Schwimmteichen auszuloten. Diese Versuche flankierten ein Forschungsprojekt* zur Vegetation auf Filterzonen von Schwimmteichen. Die Ergebnisse, sowie Erfahrungen mit Teichrandpflanzungen auf sehr flachgründigen Substratschichten und schwimmenden Inseln, führten zu der Empfehlungsliste in Tabelle 3.

Ansaaten auf dünn-schichtigen Substraten

Im Dezember 2004 wurden verschiedene Kalkmoor-Arten in 80 x 80 cm großen Edelstahlkästen ausgesät. Als Substrat dienten Holzfasermatten,



Abb. 9: *Allium suaveolens*, der Duft-Lauch, ist ein ausgezeichneter Herbstblüher, der bis Anfang Oktober zielt (Foto: Kircher/Thon).



Abb. 10: Niedrig im Wuchs, aber sehr wüchsig und nur mit deutlich höheren, konkurrenzstarken Arten kombinierbar ist *Equisetum scirpioides* (Foto: Kircher/Thon).



Abb. 11: Nach Ansaat im Dezember 2004 war bis April 2006 eine lückige Vegetationsbedeckung entstanden. Die kurzlebigen Pracht-Nelken (*Dianthus superbis*) blühten bereits (Foto: Kircher/Thon).

die mit einem Topfkultursubstrat überschichtet wurden, so dass etwa 5 cm starke Substratschichten entstanden. Da viele Moorpflanzen der gemäßigten Zone eine mehrwöchige Kühlphase benötigen, um die Keimruhe zu brechen, wurden die Kästen im Freien aufgestellt und mit einem Schutzvlies abgedeckt.

Bis Herbst 2006 hatten sich einige Parzellen zu dichten, verlegefähigen Vegetationsdecken entwickelt. Solche Elemente könnten auch für Sumpfpflanzendächer verwendet werden.

Da Saatgut der entsprechenden Arten schwer in den zur Herstellung größerer Einheiten nötigen Mengen beschaffbar ist und die Aussaat von Arten mit solch speziellen Ansprüchen immer ein gewisses Risiko bedeutet, erscheint die Herstellung von Moor-Vegetationsmatten durch Pflanzung vorkultivierter Kleinballenware empfehlenswerter.

Pflanzung von Moormatten

In Kooperation mit der Firma Petrowsky-Wasserpflanzen wurden im August 2007 einige Varianten von dünn-schichtigen Vegetationsmatten mit Kleinballenware (4 x 4 cm) von intensiv wurzelnden Kalkmoor-Arten im Abstand von 10 x 10 cm bepflanzt. *Carex*-Arten und *Eleocharis quinqueflora* erwiesen sich als sehr gut geeignet zur Pflanzmattenkultivierung (Tab. 1; Abb. 15 bis 18). Unterschiedliche Substrate hatten keine relevante Auswirkung auf Vitalität und Anwuchsverhalten der Pflanzen, allerdings stellte es sich als günstig heraus, ins Substrat, (z. B. 5 cm leicht



Abb. 12: Im September 2006 hatten sich durch die intensive Wurzelbildung der Kleinseggen (*Carex flava*, *C. davalliana*) verlegefähige Einheiten entwickelt (Foto: Kircher/Thon).



Abb. 13 und 14: *Dianthus superbis* (oben) und *Lychnis flos-cuculi* (unten) sind blühstarke Highlights, die Sumpfpflanzendächer mit Moorcharakter aufwerten können. Da sie aber eher kurzlebig sind, sollten sie nicht in Vegetationsmatten integriert, sondern erst nach deren Verlegung auf dem Dach zusätzlich eingebracht werden (Fotos: Kircher/Thon).

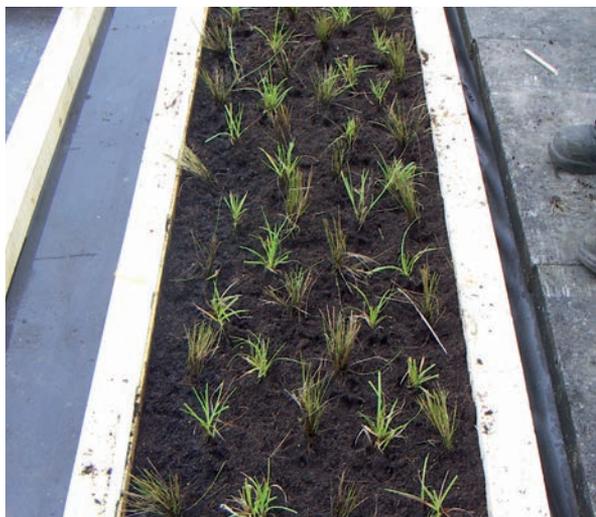


Abb. 15: Im August 2007 wurden in der Gärtnerei Petrowsky, Eschede, Moormatten als 200 x 40 cm großen Einheiten mit Kleinballenware bepflanzt (Foto: Kircher/Thon).



Abb. 16 und 17: Ein Jahr nach der Pflanzung (Juli 2008) hatten die verwendeten *Carex*-Arten und *Eleocharis quinqueflora* bereits eine gute Durchwurzelung aufgebaut (Fotos: Kircher/Thon).

aufgedüngte Einheitserde) ein Kokosgewebe (500 g/m²) als „Armierung“ einzulegen, um für die spätere Ausbringung genügend Festigkeit zu erreichen. Im Frühjahr 2009, also nach knapp zwei Jahren, hatten die Matten genügend Durchwurzelung erzielt. Die in Tabelle 1 „mäßig“ bis „schlecht“ bewerteten Arten sollten nicht in vorkultivierten Matten verwendet, sondern gegebenenfalls nach deren Verlegung als Topfware zusätzlich eingebracht werden.

Tabelle 1: Bewertung der als Pflanzmatten kultivierten Kalkmoor-Arten.

Art	Bewertung der Vitalität
<i>Allium suaveolens</i>	gut
<i>Carex davalliana</i>	sehr gut
<i>Carex viridula</i>	sehr gut
<i>Eleocharis quinqueflora</i>	sehr gut
<i>Eriophorum latifolium</i>	schlecht
<i>Tofieldia calyculata</i>	mäßig
<i>Trichophorum alpinum</i>	eher schlecht

Der Bernburger Dachbegrünungsversuch

Von 2007 bis 2014 wurden an der HS Anhalt in Bernburg Versuche zur Bepflanzung von Langsamfiltern für Typ-3-Schwimmteiche durchgeführt (THON 2014). Begleitend dazu wurden Modelle von durchströmten Dachbegrünungen mit Moorvegetation auf ihre Eignung zur Kombinati-



Abb. 18: Im zweiten Jahr nach der Pflanzung (Juli 2009) konnten die Matten problemlos aufgenommen und nach Bernburg transportiert werden (Foto: Kircher/Thon).

on mit Schwimmteichen getestet. Zur Befüllung der Becken wurde das in Bernburg verfügbare, sehr weiche Leitungswasser (Rappbodetalsperre) verwendet (Leitfähigkeit ca. 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$, Karbonathärte ca. 5 ° dH).

Versuchsaufbau

Als Schwimmteich-Modelle dienten mit Teichfolie gedichtete Holzkisten (L x B x H = 1,15 m x 0,90 m x 0,80 m) in Kombination mit je zwei oberhalb angebrachten flachen Kunststoff-Tabletts (L x B x H = je 0,80 m x 0,60 m x 0,10 m) als Filtermodelle. Jedes Tablett wurde auf ein zweites baugleiches Tablett abgestellt. Im Zwischenraum erfolgte die Messung der Temperatur (Abb. 19 bis 21).

Diese Filtermodelle wurden mit verschiedenen Varianten bestückt:

- | | |
|-------------|--|
| Variante 1 | Kokosmatte (500 g/m ²) über 37,5 g Kokosfaser, durchströmt, unbepflanzt |
| Variante 2a | Kokosmatte (500 g/m ²) über 37,5 g Kokosfaser, durchströmt, bepflanzt mit Arten oligotropher Kalkmoore |
| Variante 2b | 5 cm Toresa-Holzfasersubstrat, durchströmt, bepflanzt wie 2a |
| Variante 3 | 5 cm Toresa- Holzfasersubstrat, durchströmt, bepflanzt mit Reichmoor-Arten |

Variante 4 Sedumdach, nicht durchströmt: Drainageschicht + Dachgartensubstrat (50 % Lavakies, 50 % feinkörniger Bims), Bepflanzung mit *Sedum album*

Variante 5 Kiesdach (4 cm Abdeckung mit Rundkornkies 16/32 mm), nicht durchströmt

Die nicht durchströmten Varianten 4 und 5 hatten keinen Kontakt mit dem Wasser des darunter befindlichen Schwimmteichmodells und dienten nur zum Vergleich der Temperaturentwicklung. Eine zusätzliche Variante bestand aus *Sphagnum palustre* und einigen Hochmoorarten, die sich bei Durchflutung jedoch nicht bewährten. Jede Variante der Filtermodelle wurde einmal mit 2 ° („flach“) und einmal in 15 ° Neigung („steil“) platziert.

Ergebnisse

Bepflanzung: Bei 15 ° Neigung schoben sich die Vegetationsmatten zusammen, so dass nur die verbleibende Mattenfläche als Basis der Auswertung herangezogen werden konnte. Durchflutete Vegetationsmatten auf schrägen Dächern (> 10 °) sollten nur mit zusätzlichen Verankerungen in der Mattenfläche installiert werden. Alle Varianten passten sich zunächst gut dem Nährstoffmangel an. Ab der zweiten Vegetationsperiode begannen die Pflanzen der Variante



Abb. 19, 20, 21: Versuchsaufbau links (19): je 2 Filtermodelle (Tabletts) wurden pro Kiste mit 2 ° Gefälle aufgestellt. Hinten ist die Wassereinspeisung (je zwei Einlässe pro Tablett) zu sehen. Vorn wurden die Tabletts knapp über der Vegetationstragschicht gelocht. Mitte (20): Das untere Tablett wurde mit je einem Temperaturfühler bestückt. rechts (21): Mit der Variante „Reichmoor“ bepflanzte Tabletts (Fotos: Kircher/Thon).

Tabelle 2: Vitalität der verwendeten Arten (links: Anzahl Pflanzen je Tablett).

Stück	Art	Vitalität
Variante 1 (Kalkmoor)		
5	<i>Allium suaveolens</i>	befriedigend
1	<i>Blysmus compressus</i>	schlecht
3	<i>Carex davalliana</i>	befriedigend
2	<i>Carex maritima</i>	gut
3	<i>Carex viridula</i>	gut
2	<i>Eriophorum latifolium</i>	schlecht
3	<i>Trichophorum alpinum</i>	befriedigend
Variante 2 (Reichmoor)		
3	<i>Caltha palustris</i>	befriedigend - mäßig
3	<i>Carex diandra</i>	befriedigend
3	<i>Lysimachia nummularia</i>	befriedigend - mäßig
1	<i>Lythrum salicaria</i>	befriedigend
3	<i>Thelypteris palustris</i>	befriedigend
1	<i>Typha minima</i>	schlecht

„Reichmoor“ unter dem Nährstoffmangel zu leiden. Die Kalkmoorvarianten erzielten die besten Deckungsgrade und hohe Vitalität. Während das Reichmoor im Frühjahr mit den gelben Infloreszenzen von *Caltha palustris* visuell beeindruckte, konnte das Kalkmoor im Herbst durch die Blüte von *Allium suaveolens* punkten. Die schwachwüch-

sigeren Pflanzen des Kalkmoors zeigten eine bessere Struktur mit attraktiver Vegetationsschichtung im Spätsommer. Auf Holzfaser entwickelten sich diese besser als auf Kokosfaser.

Wasserqualität

In den Becken wurden die aufkommenden Fadenalgen im Jahr 2009 regelmäßig abgesammelt und deren Trockenmasse bestimmt. Auffällig war die starke Fadenalgenentwicklung bei den steil gestellten Modulen „Kalkmoor auf Kokosfaser“ (Variante 2a). Eventuell hatte das Zusammenschieben der Vegetation zu einer stärkeren Nährstoffmobilisierung und -ausschwemmung geführt. In der unbepflanzten Variante entstanden zwar am wenigsten Fadenalgen, jedoch war die Sichttiefe dort am geringsten (Abb. 22), was die Bedeutung der Bepflanzung von flachgründigen Filterzonen unterstreicht.

Temperatur-Tagesgang

Abbildung 23 zeigt exemplarisch den gemittelten Tagesgang von Woche 32/2009 der Temperaturentwicklung unter den Dachbegrünungs-Modellen. Erwartungsgemäß lagen unter den durchfluteten Varianten die Temperaturen deutlich niedriger als unter Kies- und Sedum-Dach. Das Kiesdach heizte sich sogar deutlich stärker auf als die Umgebungstemperatur und lag bis zu 11 °C

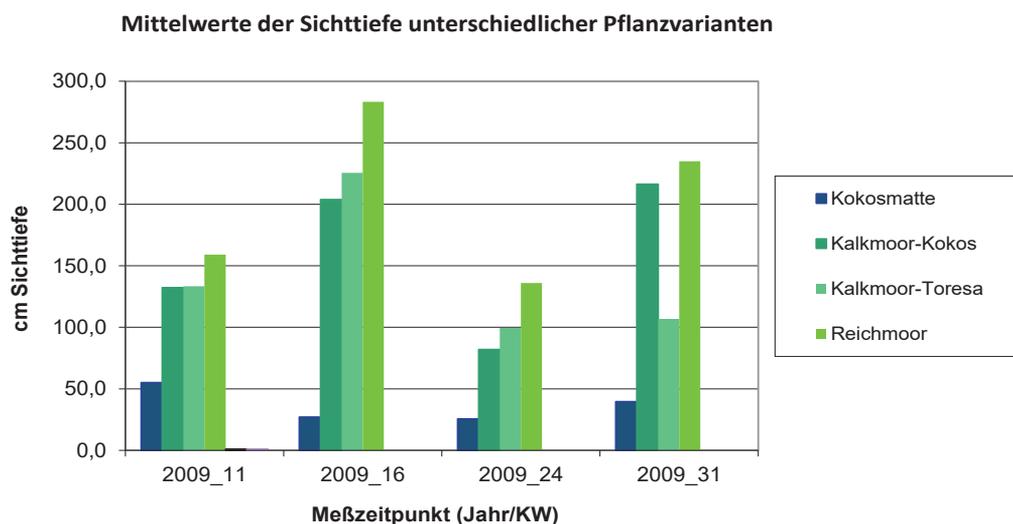


Abb. 22: Sichttiefe in den Wasserbecken bei verschiedenen Dachbegrünungs-Filtermodellen. Zur Messung wurde Beckenwasser in drei Meter lange Kunststoffröhren gefüllt und gemessen, ab welcher Wassertiefe die Bodenmarkierung (sog. Secchi-Scheibe) nicht mehr erkennbar war.

über der Temperatur der Reichmoor-Variante (THON et al. 2009)

Füllwasserbedarf

Um die Nährstoffeinträge durch Füllwasser zu minimieren, ist eine geringere Verdunstung empfehlenswert. Die Wasserverluste durch Evapotranspiration lagen 2009 bei den Kalkmoorvarianten nur zirka 3–4 % über denen der unbepflanzten Kokosmatte. Dagegen verdunsteten die Reichmoorparzellen zirka 12 % mehr Wasser.

Empfehlungen

Pflanzen eher nährstoffarmer Kalkmoore haben auf Sumpfpflanzendächern, die als technische Feuchtgebiete mit Typ-3-Schwimmteichen verbunden werden, den Vorteil relativ niedriger Verdunstungsverluste. Durch fließendes Wasser ist die Verfügbarkeit der Nährstoffe deutlich verbessert, da keine Verarmungszone um die Wurzelspitzen herum entstehen kann. Dadurch sind auch einige etwas anspruchsvollere Arten in der Lage, auf den dünn-schichtigen Vegetationsträgern zu gedeihen. In Verbindung mit Regenwassernutzung kann für Kalkmoor-Arten eine gelegentliche Aufkalkung sinnvoll sein. Der damit verbundene Anstieg der Wasserhärte fördert auch die erwünschte Ausfällung gelöster Phosphorverbindungen ins Sediment.

Obwohl dies in den Bernburger Versuchen nicht praktiziert wurde, entwickelten sich die meisten Kalkmoorarten zufriedenstellend bis gut. Wachstumsdepressionen traten erwartungsgemäß eher bei Arten auf, die typischer für Reichmoore sind. Hier kann eine leichte Zugabe von Harnstoff Abhilfe schaffen (ca. 5 g Harnstoff/m³ Beckenwasser monatlich von April bis August). Geringe Zugaben von Kaliumnitrat und Magnesiumnitrat sollten nur einmalig im April erfolgen. Keinesfalls dürfen phosphorhaltige Dünger oder sonstige Substanzen eingesetzt werden.

Arten der sauren Moore überzeugten in Bernburg in den Versuchen auf dünn-schichtigen Substraten nicht. Da solche Arten jedoch in den Testparzellen mit tiefgründigen Filterkörpern sehr gute Ergebnisse lieferten (THON 2014) sind diese Arten nicht pauschal abzulehnen. Torfmoos als Bodendeckvegetation dürfte nur in sehr humiden und eher ozeanischen Regionen nachhaltig erfolgreich sein. Auch müssen *Sphagnum*-Arten gewählt werden, die fließendes Wasser ertragen. *Sphagnum squarrosum* entwickelte sich in Bernburg auf durchströmten Filterkörpern sehr gut.

Moorvegetation lässt sich entweder auf Flachdächern auf dünn-schichtig aufgetragenen, nährstoffarmen Schüttsubstraten (z.B. Holzfasersubstrat, gärtnerische Vermehrungssubstrate) als Kleinballenware etablieren, oder als verlegefähig

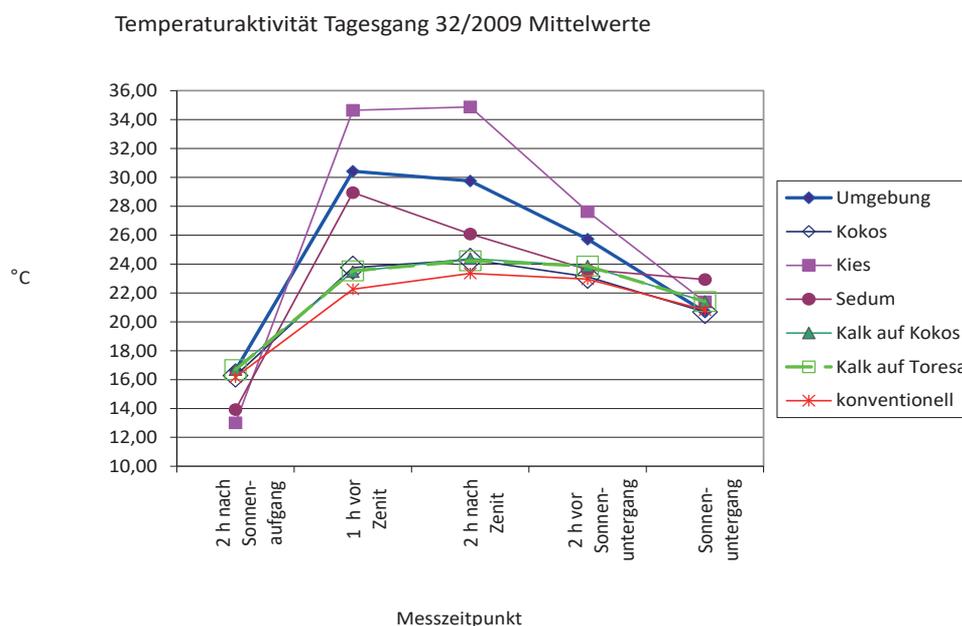


Abb. 23: Mittlerer Tagesgang der Temperatur unter den Filtertablets in Woche 32, 2009

vorkultivierte Matten, am besten mit Kokosgewebe verstärkt, aufbringen. Bei Dächern mit mehr als 5 ° Neigung empfehlen sich zusätzliche Schub Sicherungen. Eine vorkultivierte, gut verwurzelte Vegetationsmatte kann allerdings bei kleinen Dächern mit leichter Neigung bereits genug Stabilität gewährleisten. Effizient sind hierfür besonders intensiv wurzelnde Gräser (*Carex*-Arten), *Thelypteris palustris* oder *Equisetum*-Arten. Solche Arten bilden dauerhafte Wurzelfilze und eine gute Vegetationsbedeckung, sind aber wenig duldsam gegenüber Pflanzpartnern. Nur deutlich höherwüchsige Stauden wie *Liatrix spicata* oder *Lythrum salicaria* lassen sich dauerhaft dazwischen streuen, um abwechslungsreiche Vegetationsbilder zu erzeugen.

Die Empfehlungsliste in Tabelle 3 enthält neben etlichen Arten des Stauden-Standortsortimentes auch einige noch kaum in Kultur befindliche Moorpflanzen als Anregung, diese Arten in Kultur zu nehmen. Zum Beispiel sind die beiden heimischen Vertreter der Gattung *Schoenus* (Kopfbinsen, Abb. 4) ausgesprochen kulturwürdig. Die Spitzen der Neutriebe tragen von Frühjahr bis Herbst

dunkle Blüten- bzw. Fruchtstände. Sie wachsen recht langsam, bleiben streng horstig und neigen keinesfalls zum Wuchern durch starke Versamung wie etwa viele Binsen- (*Juncus*) Arten.

Die als schwachwüchsig ausgewiesenen Arten (Tab. 3, Ziffer 1) sind eher Liebhaberpflanzen für kleine Dachflächen im Privatgarten.

KONTAKT

Hochschule Anhalt
Prof. Dr. Wolfram Kircher
Telefon: +49 (0)3471 355 1150
E-Mail: wolfram.kircher@hs-anhalt.de



Hochschule Geisenheim University
Prof. Dr. Andreas Thon
Telefon: +49 (0)3471 355 1150
E-Mail: Andreas.Thon@hs-gm.de



Zeichenerläuterung zu Tabelle 3

- Spalte Beschreibung:** **Höhe** in cm von - bis bzw. Laubhöhe / Blütenstandshöhe
Blütezeit in Monaten (römische Zahlen)
Blüten- oder Fruchtfarbe
 # = Laub immergrün; (#) = Laub teilweise immergrün

- Spalte Typ:** **Konkurrenzkraft:**
 - 1: Eher schwachwüchsig, für kleine Dächer im Privatgarten.
 - 2: Horstige Art, rasch entwickelnd, aber eher kurzlebig. Gute Ergänzung für die ersten zwei bis vier Jahre, dann im Bestand meist zurückgehend.
 - 3: Robuste Arten, nicht oder kaum Ausläufer treibend, auch für größere Dachflächen, in einer Matrix aus niedrigen, Ausläufer treibenden Gräsern ausdauernd.
 - 4: Ausläufer treibend, aber niedrigwüchsig, mit Arten der Gruppe 2 kombinierbar
 - 5: Sehr wuchernde Arten, lassen nach einigen Jahren kaum Partnervegetation zu, **für artenreiche Flächen nicht empfehlenswert.**

Wasserqualität:

- S:** nährstoffarm, Härte < 5 °dH (karbonatfreies Substrat)
- K:** nährstoffarm, karbonathaltig bis -reich, Härte > 6 °dH
- R:** nährstoffreich, eher karbonatreich, eventuell ist Düngung mit Harnstoff (+ eventuell plus Kalium) im April anzuraten.

Tabelle 3: Arten der oligotrophen bis mesotrophen Moore und Uferzonen mit Eignungspotential für dünn-schichtige, nasse Dachbegrünungen. Alle aufgeführten Arten sind in Mitteleuropa gut winterhart.

Botanischer Name	Deutscher Name	Beschreibung	Typ
<i>Allium angulosum</i>	Kanten-Lauch	30-40, VIII-IX, rosa	1 K
<i>Allium cernuum</i>	Nickender Lauch	30-40, VI-VII, rosa	3 K
<i>Allium schoenoprasum</i>	Schnitt-Lauch	20-30, V-VI, lila	3 K
<i>Allium suaveolens</i>	Duft-Lauch	30-40, VIII-IX, hellrosa	3 K
<i>Aster nemoralis</i>	Hain-Aster	20, VIII-IX, violettrosa	1 S
<i>Caltha palustris</i>	Sumpfdotterblume	20/30, IV-V, gelb	3 K-R
<i>Cardamine pratensis</i>	Wiesen-Schaumkraut	5/30, IV-V, weiß - rosa	2-3 S-K
<i>Carex acutiformis</i>	Sumpf-Segge	50-100, V-VII, grün #	5 K-R
<i>Carex appropinquata</i>	Schwarzschoopf-Segge	40-60, V-VII, schwärzlich	3 K-R
<i>Carex davalliana</i>	Davall-Segge	10-20, IV-VII, braun (#)	1,3 K
<i>Carex diandra</i>	Draht-Segge	30-60, V-VII, braun	3 K
<i>Carex flava subsp. flava</i>	Gelb-Segge	20/30, IV-VII, hellgrün #	2-3 K
<i>Carex gracilis</i>	Schlanke Segge	50-100, V-VII, grün	5 K-R
<i>Carex maritima</i>	Binsenblättrige Segge	10-20, VI-VII, braun	1,3 S-K
<i>Carex nigra</i>	Braun-Segge	20-40, V-VII, bräunlich-grün	4 K-R
<i>Carex pulicaris</i>	Floh-Segge	15-20, IV-VII, braun	1,3 K
<i>Carex viridula</i>	Zwerg-Gelb-Segge	10/15, V-VIII, hellgrün #	1 K
<i>Cladium mariscus</i>	Schneidried	60/120, braun #	5 K-R
<i>Dactylorhiza-Hybriden</i>	Knabenkraut	30-40, V-VI, rosa	1,3 K
<i>Dianthus superbus</i>	Pracht-Nelke	10/40, V-VI, rosa	2 K
<i>Eleocharis palustris</i>	Sumpfbirse	30-40, braun	5 R
<i>Eleocharis quinqueflora</i>	Armlütige Sumpfbirse	10-15	4 K
<i>Epipactis palustris</i>	Sumpf-Stendelwurz	30-40, VI-VII, weiß	3-4 K
<i>Equisetum scirpioides</i>	Simsen-Schachtelhalm	10-20, braune Köpfchen	5 K
<i>Equisetum variegatum</i>	Bunter Schachtelhalm	20-30, braune Köpfchen	5 K-R
<i>Erica tetralix</i>	Glocken-Heide	20-30, VI-X, rosa #	1 S
<i>Eriophorum angustifolium</i>	Schmalblättriges Wollgras	30/50, V-VI, weiß (#)	4-5 S
<i>Eriophorum latifolium</i>	Breitblättriges Wollgras	15/70, V-VII, weiß (#)	1 K
<i>Eriophorum russeolum</i>	Russisches Wollgras	15/30, V-VII, orangebraun	1,3 S

Botanischer Name	Deutscher Name	Beschreibung	Typ
<i>Eriophorum vaginatum</i>	Scheidiges Wollgras	30/60, IV-VI, weiß #	1,3 S
<i>Iris setosa subsp. canadensis</i>	Zwerg-Schwertlilie	20-30, V, blauviolett	1 K-R
<i>Iris sibirica</i>	Wiesen-Schwertlilie	50-80, V-VI, violettblau	3 K-R
<i>Liatris spicata</i>	Prachtscharte	60-100, VII-VIII, violettrosa	3 K-R
<i>Lobelia siphilitica</i>	Blaue Lobelie	20-40, VII-IX, violettblau	2 K-R
<i>Lychnis flos-cuculi</i>	Kukucks-Lichtnelke	V-VI, 10/40, rosa	2 K-R
<i>Lysimachia nummularia</i>	Pfennigkraut	5, V-VI, gelb #	4 R
<i>Lythrum salicaria</i>	Blutweiderich	60-100, VI-XIII, rosa Pfahlwurzel kann Dichtungen gefährden!	3 K-R
<i>Molinia caerulea</i>	Pfeifengras	20/70, VIII-X, braun Versamung!	3K
<i>Pogonia ophioglossoides</i>	Moor-Pogonie	20-25, VI-VII, rosa	1 S
<i>Potentilla erecta</i>	Blutwurz	10-30, VI-IX, gelb	3 K
<i>Primula elatior</i>	Wiesen-Primel	10/30, IV-V, gelb	2 K-R
<i>Primula rosea</i>	Rosen-Primel	10/25, IV-V, rosa	1,2 K
<i>Sarracenia purpurea</i>	Kannepflanze	20/40, V-VI, rot	1 S
<i>Scirpoides holoschoenus</i>	Kugelbinse	40-100, VI-IX, grünlich	3 R
<i>Schoenus ferrugineus</i>	Rostrote Kopfbinse	20-30, V-XII, dunkelbraun (#)	1,3 K
<i>Schoenus nigricans</i>	Schwarze Kopfbinse	30-50, V-XII, schwärzlich (#)	3 K
<i>Sisyrinchium angustifolium</i>	Binsenlilie	15-25, VI-VII, violettblau	2 K-R
<i>Succisa pratensis</i>	Teufelsabbiß	20/70, VII-IX, violettblau	2 K-R
<i>Thelypteris palustris</i>	Sumpffarn	30-40	5 K-R
<i>Tofieldia calyculata</i>	Simsenlilie	20/30, V-VI, gelb #	1 K
<i>Trichophorum alpinum</i>	Alpen-Haargras	20, V-VII, weiß	1 S-K
<i>Vaccinium macrocarpum</i>	Cranberry	10-20, V, weiß, rote Frucht IX-III	4 S

LITERATUR

- FLL (2017): Richtlinien für Planung, Bau und Instandhaltung von privaten Schwimm- und Badeteichen, 2. Ausgabe, Bonn.
- Kircher, W. (2007): Marginal Wetland Planting for Oligotrophic Swimming Ponds. *Miestu zeldynu formavimas, Klaipeda*, 1 (4), S. 65–69.
- Kircher, W.; Thon, A. (2016): How to Build a Natural Swimming Pool. London: Filbert Press
- Kircher, W. & Thon, A. (2015): Einfluss der Bepflanzung durchströmter Filter von Schwimmteichen auf Verdunstungsverluste und Fadenalgenbesatz. Versuche im Garten- und Landschaftsbau, Nr.6. FLL, Bonn.
- Thon, A., Kircher, W., Thon, I. (2010): Constructed Wetlands on Roofs as a Module of Sanitary Environmental Engineering to Improve Urban Climate and Benefit of the On-Site Thermal Effects. *Miestu zeldynu formavimas*, 1 (7), S. 191–196.
- Thon, A. (2009): Shallow Constructed Roof Wetlands for Wastewater Treatment – Intermittently Flushed Wetlands as Roof Gardens in Mediterranean Countries. HS Anhalt, Bernburg, Master Thesis.
- Thon, A.; Kircher, W.; Pesch, R.; Schmidt, G.; Thon, I. (2009): Functionality, Appearance and Water Purification Rates of Perfused Vegetation Mats for Water Treatment at Private Swimming Ponds. *Miestu zeldynu formavimas, Klaipeda*, 1 (6), S. 65–77.
- Thon, A. (2014): Untersuchung von Bepflanzungsvarianten und Durchströmung der Filterzone von Kleinbadeteichen. Universität Vechta, Dissertation.
- Wendorf, A. (2003): Planung eines privaten Dachgartens mit Schwimmteichanlage in Staßfurt. HS Anhalt, Bernburg Diplomarbeit.



Wasserpflanzen - Potenziale für eine verbesserte Wasserspeicherung auf Dächern?

Die Verwendung von Wasserpflanzen anstelle von bisher eingesetzten, trockenheitsliebenden Arten könnte den Rückhalt und die Verdunstung von Niederschlägen in Städten steigern und damit einen wichtigen Beitrag dieser blau-grünen Infrastrukturen zur Verbesserung des Klimas in Städten leisten.

Henning Günther (Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden)

Wasser und Vegetation in Städten

Dezentraler Wasserrückhalt wird in Städten zur Entlastung der Infrastrukturen sowie zur Verbesserung des Stadt- und Mikroklimas immer wichtiger. Lösungen mit dem Ziel, Niederschlagswasser schnellstmöglich abzuleiten, sind für das prognostizierte Stadtklima und die damit verbundenen Szenarien, wie Starkregen oder Trockenperioden, nicht mehr ausreichend leistungsfähig beziehungsweise bestehende Infrastrukturen können nicht ausreichend oder nur unter hohem Kostenaufwand ertüchtigt werden. Zur gleichen Zeit sind die Grünflächen der Städte während der Trockenperioden auf ausreichend Wasser angewiesen, um ihre wichtigen Systemleistungen dauerhaft zu erbringen (Abb. 1).

Abgeleitetes Regenwasser steht diesen Grünflächen nicht mehr zur Verfügung. Das Regenwasser muss daher dezentral während der Regenereignisse zurückgehalten und anschließend langsam diesen bewachsenen Flächen zugeführt werden. Dieses Prinzip wird auch „Schwammstadt“ genannt.

Die gängigsten Methoden setzen sich aus einer Vielzahl einzelner angepasster und aufeinander abgestimmter Komponenten zusammen. Der erste Schritt besteht immer aus einer Entsiegelung und damit Abkopplung von Abflussentstehungsflächen. Die Wahl von wasserdurchlässigen Oberflächen ist sowohl für Bestandsgebiete als auch für Neuplanungsgebiete ein einfaches und zugleich effektives Instrument, um den Wasserabfluss zu reduzieren. Der Abfluss, welcher auf diese Weise nicht zurückgehalten werden kann, sollte möglichst vor Ort durch Versickerung in den Untergrund eingeleitet oder gespeichert werden. Dazu kann entsprechend der örtlichen Verhältnisse auf unterschiedliche Kombinationen aus Mulden- und Rigolensystemen zurückgegriffen werden, welche das Wasser ober- und unterirdisch speichern. Aus diesen Speichern sollte das Wasser aufgenommen und zeitverzögert wieder durch die Vegetation in die Atmosphäre abgegeben, das heißt verdunstet werden. Nur auf diese Weise tragen die Systeme auch zu einer Verbesserung des Mikroklimas in



Abb. 1: Grünflächen in Städten können während Trockenperioden ihre wichtigen stadtklimatischen Funktionen nicht mehr erfüllen, wenn die Pflanzen unter Trockenstress leiden (Foto: Günther).

Städten bei. Die „Bewirtschaftung“ endet somit nicht wie bei dem „End of Pipe“ - Prinzip mit dem erfolgreichen Ableiten oder Speichern des Wassers in einem Retentionsraum zur Entlastung der bestehenden Infrastrukturen, sondern mit der Aufnahme und Verdunstung durch die Pflanzen. Solche Systeme werden daher auch blau-grüne Infrastrukturen genannt und verfolgen als Planungsziel die Wiederherstellung einer natürlichen Wasserbilanz aus Abfluss, Versickerung und Verdunstung.

Das Besondere an diesem Ziel ist, dass es einen anderen Planungsansatz erfordert. Mit Beginn jeder Planung muss der Weg des Wassers von der versiegelten Oberfläche über den Speicher und über die Pflanzen zurück in die Atmosphäre berücksichtigt werden. Bereits in der Konzeptphase einer Planung sind daher die für Rückhalt und Speicherung als Vegetationsflächen vorgesehenen Areale und Räume auszuweisen und im gesamten weiteren Planungs- und Bauablauf entsprechend ihrer zukünftigen Aufgaben als Vegetationsstandort zu behandeln. Insbesondere müssen sie vor Verdichtung bewahrt werden, damit sie ihre Eigenschaften als Pflanzenstandort und die Fähigkeit zur Wasserspeicherung nicht verlieren. Dieses Bewahren bezieht sich nicht nur auf die Planungs- und Umsetzungsphase, sondern auch auf die spätere Pflege und Entwicklung der Grünflächen und berücksichtigt insbesondere auch die Eigenschaften der Pflanzen. Durch die Speicherung des Wassers in den Grünflächen sind die Pflanzen der dafür bewahrten Flächen bereits gut auf prognostizierte Trockenperioden vorbereitet und können auch bei ausbleibenden Niederschlägen überdauern. Diese Eigenschaften sind neben den

klassischen räumlich-ästhetischen Funktionen der Flächen als zentrales freiraumgestalterisches Element mit der Pflanze im Mittelpunkt dauerhaft zu berücksichtigen und zu erhalten.

Gründächer

Der wohl bekannteste Baustein zur Speicherung und Verdunstung von Regenwasser in Städten sind Dachbegrünungen. Gründächer bestehen aus einer bepflanzten Substratschicht über der Gebäudeabdichtung. Auf diese Weise soll die natürliche Rückhaltefunktion des Bodens, welche durch die Bebauung und Versiegelung verloren gegangen ist, wiederhergestellt werden. Besonders intensive Gründächer mit Substrathöhen von mehr als 20 cm sind in der Lage, weit mehr als die Hälfte des Jahresniederschlages im Porenraum des Substrates zu speichern. Sie geben das Wasser zeitverzögert wieder ab und verringern die abfließende Wassermenge. Das in dem Porenraum des Substrates zurückgehaltene Wasser wird durch

Verdunstung wieder an die Atmosphäre abgegeben. Dachbegrünungen sind daher in der Lage die durch die Versiegelung/Bebauung verloren gegangenen Bodenfunktionen am Ort des Verlustes in Teilen wiederherzustellen (Abb. 2).

Probleme der Retention

Dachbegrünungen, insbesondere extensiv begrünte Bauweisen mit geringer Substratschicht, stoßen bei den in der Vergangenheit bereits aufgetretenen und zukünftig prognostizierten häufiger auftretenden Starkregenereignissen an die Grenzen ihres Rückhaltevermögens. Soweit es die Statik eines Daches erlaubt, werden daher zusätzlich Retentions- und Speicherelemente unterhalb der Substratschicht eingesetzt, um die Rückhaltekapazität eines Daches zu erhöhen. Zudem können die Systeme entsprechend der prognostizierten Wetterlage vor Starkregenereignissen leer gefahren werden, damit im Ereignisfall das maximale Retentionsvolumen zur Verfügung steht. Dies

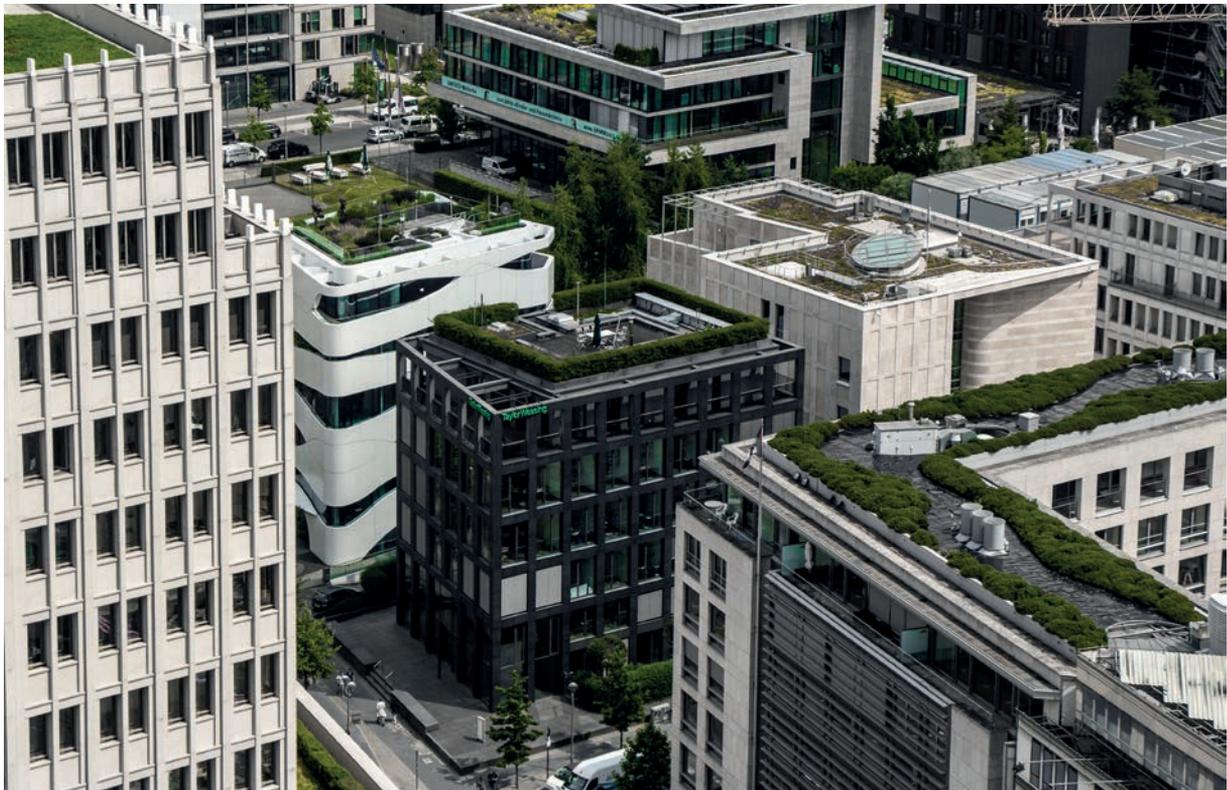


Abb. 2: Dachbegrünungen sind Stand der Technik zur Begrünung von Innenstädten (Foto: Günther).

geschieht durch steuerbare Drosselemente, welche teilweise automatisch in Verbindung mit der Wetterprognose geschaltet werden können. Somit steht im Regenfall ausreichend Rückhaltevolumen und während einer Trockenperiode ausreichend Wasser im Untergrund einer Begrünung zur Versorgung der Pflanzen zur Verfügung.

Diese technische Steuerung des Wasserrückhaltes ist nur so gut wie die eingesetzte Technik und die dafür erforderliche regelmäßige und fachkompetente Wartung. Selbst extensive Dachbegrünungen, das heißt extensiv zu pflegende Systeme, zeigen hinsichtlich der Mindestanforderungen oftmals erhebliche Defizite in der Pflege. So werden aufkeimende Gehölze nicht rechtzeitig erkannt und entfernt oder die für den Brandschutz notwendigen Kiesstreifen nicht erhalten, wenn die Dächer außerhalb des direkten Einsichtbereiches liegen. Es ist daher fraglich, ob die technisch aufwändigen Retentionsdachlösungen aufgrund der Wartungspraxis geeignet sind, um zukünftige Starkregenereignisse und Trockenperioden zu bewältigen.

Probleme mit der Pflanzenauswahl

Die Pflanzen, welche für Dachbegrünungen eingesetzt werden, müssen die extremen Standortbedingungen, das heißt insbesondere den Wechsel zwischen Trockenheit und feuchtem Standort tolerieren können. Diese Toleranz wird umso wichtiger, je geringer der Aufbau des Substrates ist. Für extensive Aufbauten werden daher oft solche Arten eingesetzt, die besondere Anpassungsstrategien an Trockenheit entwickelt haben. Dazu zählen zum Beispiel die Sedum-Arten. Diese verfügen über eine ausgeprägte Cutikula, das heißt eine Wachsschicht auf den Blättern und oberirdischen Pflanzenorganen. Diese Schicht verhindert die passive Abgabe von Wasser an die Atmosphäre aus den Zellen der Pflanzen. Weiterhin sind die Arten in der Lage, tagsüber ihre Stomata vollständig zu verschließen, das heißt die Wasserabgabe während der heißen Tagesstunden vollständig einzustellen. Aufgrund der geschlossenen Stomata können sie allerdings auch keinen Kohlenstoff für die Photosynthese aufnehmen. Damit sie dennoch tagsüber assimilieren können,

nehmen sie den notwendigen Kohlenstoff nachts auf und speichern diesen bis zur Verwendung am nächsten Tag in den Vakuolen der Zellen zwischen. Diese Strategie der Pflanzen wird Crassulaceen-Säurestoffwechsel (kurz CAM von Crassulacean Acid Metabolism) genannt und ist insbesondere bei den Sedum-Arten weit verbreitet. Die Pflanzen haben somit besondere Verdunstungsschutzmechanismen entwickelt, um sich an Standorten mit extremer Trockenheit gegenüber anderen Arten durchzusetzen.

Das Ausbringen der Pflanzen ist ein wichtiger Arbeitsschritt zur Anlage der Begrünung auf einem Dach in oft großer Höhe. Während gerade bei extensiven Begrünungen das Substrat als BigPack oder per Gebläse auf das Dach gebracht wird, stellen der Transport und das Pflanzen mit Wurzelballen eine besondere Herausforderung an die Logistik und den Begrünungserfolg dar. Die Sedum-Arten können Standorte vegetativ erschließen und daher auch diesen Anforderungen entsprechen. Sich vegetativ ausbreitende Pflanzen können ausschließlich mit ihren oberirdischen Sprosssteilen ausgebracht werden, weil sie nach der Aussaat Adventivwurzeln bilden und sich so an neuen Standorten etablieren. Sedum-Arten sind somit geeignet, um einfach und effektiv auf Dächern ausgebracht zu werden und sich dort pflegeextensiv zu entwickeln. Die Wirkung und Funktion einer Dachbegrünung hinsichtlich Wasserretention und Verdunstung ist dagegen in erster Linie auf das Dachsubstrat zurückzuführen, weil die Pflanzen aufgrund gattungs- und/oder artspezifischer Anpassungsstrategien ihre Verdunstung tagsüber reduzieren beziehungsweise vollständig einstellen.

Natürliche Lösungsansätze

Grüne Infrastrukturen

Unter dem Begriff grüne Infrastrukturen werden alle natürlich und künstlich bewachsenen Elemente in Städten zusammengefasst. Diese leisten als einzelnes Element aber besonders als Netzwerk einen wichtigen Beitrag zur Retention von Regenwasser und damit auch zur Verbesserung der Lebensbedingungen in Städten. Die Pflanzen spielen



Abb. 3: An natürlichen Feuchtestandorten wie hier in einem Bruchwald haben Pflanzen spezielle Anpassungen an ständig hohe Wasserstände entwickelt. (Foto: Günther).

dabei eine zentrale Rolle (Abb. 3). Sie wirken sich auf den Wasserhaushalt und die Retention in vielfältiger Weise aus. Als wichtigste Wirkungen sind die Interzeption des Niederschlages, die erhöhte Infiltration in bewachsene Böden, die Aufnahme und Speicherung von Wasser und die damit verbundene verzögerte und reduzierte Weiterleitung der in Städten zu bewirtschaftenden Wasserabflüsse zu nennen. Während eines Regenereignisses werden, bevor der Regen auf den Boden trifft, die Oberflächen der Pflanzen wie Blätter, Zweige, Äste und Stämme benetzt. Das Auftreffen von Regen auf den Boden wird dadurch verzögert oder bei kleineren Regenereignissen sogar ganz verhindert. Das Wasser dieser Oberflächen gelangt durch die Verdunstung wieder direkt in die Atmosphäre. Dieser Vorgang wird Interzeption genannt.

Während große Bäume bis zu 80 % des Niederschlages zurückhalten können, sind es bei kleinen Bäumen 16 %. Die dafür relevanten Blattoberflächen werden durch den Blattflächenindex beschrieben. Der Blattflächenindex gibt die

Blattoberfläche über einem Quadratmeter Bodenoberfläche an. Während Laubbäume Werte von bis zu $4 \text{ m}^2/\text{m}^2$ erreichen, können bei Nadelbäumen Oberflächen von bis zu $7\text{--}8 \text{ m}^2/\text{m}^2$ erreicht werden. In der Vegetationsruhe, das heißt nach dem Laubfall, verringert sich das Interzeptionspotenzial der Laubbäume auf 10–30 % gegenüber dem belaubten Zustand. Wichtig ist bei diesem Vergleich auch die Zeit, in der die Pflanzen diese Oberflächen entwickeln. Während bei den Gehölzen meist 10–20 Jahre notwendig sind, sind es bei den krautigen Pflanzen oft jährlich wiederkehrende Werte, wenn sich die Pflanzen nach der Initialphase von einigen Jahren nach der Pflanzung etabliert haben. Die Blattoberfläche und damit auch die Interzeption sind daher sowohl von der Pflanzenart, von dem Alter der Pflanze und der Jahreszeit abhängig.

Von den Blattoberflächen abfließendes Wasser trifft zeitverzögert auf den Boden auf und kann von einem durchwachsenen Boden besser aufgenommen werden. Durch das Wurzelwachstum



Abb. 4: Das „Urbane Gewässer“ am Potsdamer Platz in Berlin ist ein als Regenwasserspeicher angelegtes künstliches Wasserbecken. Die in den Reinigungsbeeten eingesetzten Wasserpflanzen tragen zur Verdunstung und Reinigung des Wassers bei. Der Wasserstand kann um insgesamt 30 cm schwanken, um Regenereignisse und Trockenperioden zu puffern. (Foto: Günther).

bleibt der Boden stets offen und aufnahmefähig. Der oberflächige Abfluss eines bewachsenen Bodens ist daher je nach Vegetation gering bis nicht vorhanden, während die Infiltrationsrate um den Faktor 2–17 erhöht ist (BRAMLEY et al. 2003). Das in dem Boden gespeicherte Wasser wird durch die Pflanzenwurzeln wieder aufgenommen und gelangt auf diesem Wege zurück in die Atmosphäre. Untersuchungen zeigen Transpirationsraten von ca. 40.000 Liter pro Sommer für einen großen Laubbaum oder bis zu 300 Liter pro Tag (BARTENS et al. 2008; CERMÁK et al. 2000; THOMAS 2000). Gegenüber dieser Transpiration der Pflanzen ist die Verdunstung des Wassers durch Evaporation erheblich reduziert. Auf diese Weise tragen insbesondere bewachsene Oberflächen zu einem um 20–60 % erhöhten Rückhalt von Wasser und einer verzögerten Weiterleitung sowie zur Verdunstung/Abgabe in die Atmosphäre bei (THOMAS & NISBET 2007).

Wasserflächen und Wasserpflanzen

Bepflanzte Wasserflächen sind zur Speicherung und Verdunstung von Regenwasser besonders gut geeignet. Sie stellen ein Retentionsvolumen zur Speicherung von Abflüssen bereit, indem sie Wasserstandschwankungen tolerieren (Abb. 4). Weiterhin stellen sie kontinuierlich Wasser für den langsamen Verdunstungsprozess zur Verfü-

gung (HARLAß 2008). Durch die Kombination mit Wasserpflanzen kann die Verdunstungsleistung dieser Flächen gegenüber anderen bewachsenen Flächen erheblich gesteigert werden, weil die Blätter der Pflanzen die verdunstungsaktive Oberfläche der Wasserfläche erhöhen. Innerhalb einer Vegetationsperiode können Röhrichtbestände verdunstungsaktive Blattoberflächen zwischen 6 und 8 m² je m² Grundfläche entwickeln (FRAHM 2007; LARCHER 2001). Weiterhin haben sich die Verdunstungsschutzmechanismen von Röhrichtpflanzen weniger ausdifferenziert entwickelt, weil diese Strategien an Standorten mit ständig ausreichender Wasserverfügbarkeit keine Konkurrenzvorteile bieten. So ist zum Beispiel Schilf (*Phragmites australis*) nicht in der Lage, seine Stomata zu schließen, um den Verdunstungsprozess zu regulieren (GESSNER 1956). Dadurch verdunsten diese Pflanzen fast ausschließlich in Abhängigkeit des Verdunstungspotenzials der sie umgebenden Luft, ohne dass die Pflanze diesen Prozess entsprechend ihrer Tages- oder Jahreszyklen reguliert. Die Verdunstung findet damit auch während der Nachtstunden statt, in denen Landpflanzen ihre Stomata fast vollständig schließen und keine Photosynthese stattfindet (GESSNER 1956). Während eine freie Wasserfläche in der Stadt eine Verdunstung von 4 l/m² je Tag erreicht, kann diese durch die Vegetation auf das 5-fache gesteigert werden. In der Jahressumme

sind Verdunstungsmengen von über 1800 bis 2000 mm bekannt (BEHRENDT et al. 2001). Durch diese besonderen physiologischen Eigenschaften sind die Wasserpflanzen für eine Steigerung der Verdunstung bestens geeignet.

Ausblick Wasserpflanzen auf Dächern

Wasserpflanzen für Dachbegrünungen einzusetzen, erscheint zur Steigerung des Wasserrückhaltes, der Verdunstung und der Stadtklimaverbesserung sinnvoll. Bewässerungseinrichtungen oder Einstaudächer werden bereits eingesetzt, um die notwendigen Standortbedingungen für Wasserpflanzen auf Dächern zu schaffen. Es können damit sowohl die positiven Effekte von Dachbegrünungen als auch die physiologischen Potenziale von Wasserpflanzen zur Steigerung der Verdunstung ausgenutzt und gesteigert werden. Während extensive beziehungsweise intensive Dachbegrünungen zwischen 352 mm (10 cm Aufbau) und 601 mm (>50 cm Aufbau) (HARLAß 2008) jährlich verdunsten können, liegen diese Werte bei bepflanzten Wasserflächen mit bis zu 1800 bis 2000 mm deutlich darüber. Inwieweit sich diese mögliche gesteigerte Verdunstung auch positiv auf das Stadtklima auswirkt, ist bisher noch nicht erforscht. Untersuchungen zur generellen Wirksamkeit von Begrünungen haben gezeigt, dass sogenannte Oaseneffekte zu einer deutlichen

Steigerung der Verdunstungsleistung beitragen. Ein Oaseneffekt tritt ein, wenn in einer Stadt eine begrünte Fläche von überwiegend bebauter Infrastruktur umgeben ist und aus dieser fortwährend mit trockenwarmer Luft versorgt wird. Dadurch wird ein ständiges Sättigungsdefizit aufrechterhalten, so dass die spezifische Verdunstung von solchen grünen Oasen im Vergleich zu großen Grün- und Wasserflächen erheblich höher liegt. Bei Dachbegrünungen ist aufgrund ihrer exponierten Lage von einem solchen Oaseneffekt und damit einer Steigerung der Verdunstung auszugehen. Mit dem Einsatz von Wasserpflanzen auf Dächern bieten sich somit große Potenziale zum Wasserrückhalt und zur Verbesserung des Stadtklimas.

KONTAKT

Hochschule für Technik und Wirtschaft
Dresden
Prof. Dr. Henning Günther
Garten- und Landschaftsarchitekt (AKS)
Telefon: +49 (0)351 462 - 3624
E-Mail: henning.guenther@htw-dresden.de

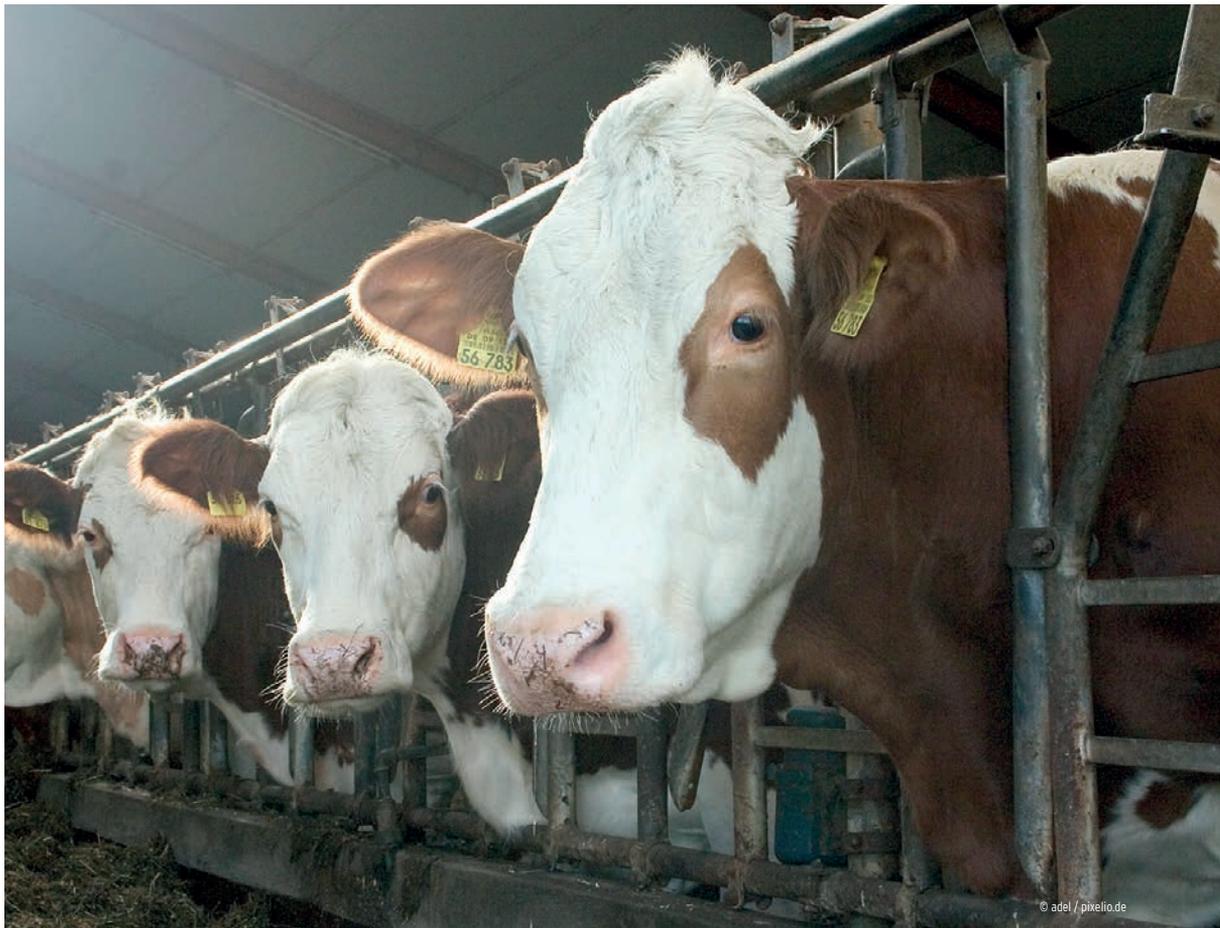


LITERATUR

- Bartens, J.; Day, S. D.; Harris, J. R.; Dove, J. E. & Wynn, T. M. (2008): Can urban tree roots improve infiltration through compacted subsoils for stormwater management? *Journal of Environmental Quality* 37 (6): 2048–2057.
- Behrendt, A.; Mundel, G.; Schalit, G. & Hölzel, D. (2001): 30 Jahre Paulinenauer Grundwasserlysimeter - eine Zusammenfassung ausgewählter Ergebnisse. *Archiv für Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde* 46: 73–89.
- Bramley, H.; Hutson, J. & Tyerman, S. D. (2003): Floodwater infiltration through root channels on a sodic clay floodplain and the influence on a local tree species *Eucalyptus largiflorens*. *Plant and Soil* 253 (1): 275–286.
- Cermák, J.; Hručka, J.; Martinková, M. & Prax, A. (2000): Urban tree root systems and their survival near houses analyzed using ground penetrating radar and sap flow techniques. *Plant and Soil* 219: 103–116.
- Frahm, E. (2007): Bestimmung der realen Evapotranspiration für Weide (*Salix* spp.) und Schilf (*Phragmites australis*) in einem nordostdeutschen Flusstalmoor. Dissertation. 201 S.
- Gessner, F. (1956): Der Wasserhaushalt der Hydrophyten und Helophyten. In: Ruhland, W. (Hrsg.): *Handbuch der Pflanzenphysiologie*: 854–901.
- Harlaß, R. (2008): Verdunstung in bebauten Gebieten. Evapotranspiration in Urban Areas. Dissertation. 167 S.
- Larcher, W. (2001): Ökophysiologie der Pflanzen. Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. 408 S.
- Thomas, H. & T. Nisbet, T. (2007): An Assessment of the impact of floodplain woodlands on flood flows. *Water and environment journal* 21 (2): 114–126.
- Thomas, P. (2000): *Trees: Their natural history*. Cambridge University Press. 289 S.

Auch Kühe mögen es kühl

86



Das Sumpflanzendach dient als alternatives Verfahren zur Vermeidung von Hitzestress für Milchkühe in der warmen Jahreszeit.

Heiko Georg und Katrin Sporkmann (Thünen-Institut für Ökologischen Landbau)

In Deutschland stehen während der Sommermonate mehr als die Hälfte (58 %) der etwa 4,1 Millionen Milchkühe im Stall (STATISTISCHES BUNDESAMT 2011). Dabei erhöht sich die Wahrscheinlichkeit der reinen Stallhaltung für Milchkühe mit der Herdengröße: Je größer die Herde,

desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die Kühe Weidegang bekommen. Ab einer Betriebsgröße mit 100 Tieren und mehr liegt der Anteil der Kühe mit Weidegang bei einem Drittel (STATISTISCHES BUNDESAMT 2011). Diese Zahlen sind Durchschnittswerte für den Standort Deutschland

ohne Berücksichtigung der Wirtschaftsweise. Für ökologisch wirtschaftende Betriebe ist die Weidewirtschaft Zielvorgabe, verpflichtend ist zumindest ein Auslauf am Stall. Der Anteil der ökologisch gehaltenen Kühe am Gesamtbestand beträgt allerdings nur 4,3 % (SCHAACK et al. 2017). Für die Mehrzahl der Milchkühe gilt daher nach wie vor die ganzjährige Stallhaltung, mit dem Problem, dass im Sommer und auch bereits in der Übergangszeit die Stallumgebung zur Wärmebelastung führt. Die Hitzebelastung der Milchkühe wurde in den vergangenen Jahrzehnten auch durch die enorme (Milch-)Leistungssteigerung verstärkt, da die metabolische Energie, die Kühe für 30–40 Liter Milch täglich aus dem Futter umsetzen, vom Körper abgeleitet werden muss. Durch den intensiven Stoffwechsel wird mit steigender Leistung der Kühe auch die Thermoregulation in den Kuhställen immer wichtiger (BRADE 2013).

Physiologisch beginnt der leichte Hitzestress für Kühe bereits bei 21 °C Umgebungstemperatur und wird ab 25 °C zu einem Stressfaktor mit Einbußen bei der Milchleistung (POLSKY & KEYSERLINGK 2017). Die Komfortzone (thermoneutraler Bereich) der Kühe liegt zwischen 5 °C und 20 °C Umgebungstemperatur (NOORDHUIZEN & BONNEFOY 2015). Der Hitzestress im Stall hat neben den negativen Auswirkungen auf die Milchleistung der Tiere auch negative Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit (SCHÜLLER et al. 2014). Die Kühe reagieren mit den üblichen Stressindikatoren wie Hecheln auf die hohen Temperaturen, ändern aber auch ihr Liegeverhalten durch kürzere Liegezeiten (COOK et al. 2007). Die Kühe vermeiden das Abliegen in Liegeboxen mit Einstreu, da die Wärmeableitung dort auf Grund der Einstreu geringer ist. Stattdessen liegen Kühe bei extrem hohen Stalltemperaturen manchmal auf Beton(lauf-)flächen im Stall ab, die zum Teil feucht und verschmutzt sind, um ihre Wärmeableitung beim Liegen zu erhöhen.

Niedrigere Milchleistungen und gestörtes Liegeverhalten verursachen Kosten für die Milchviehalter. Im Rahmen einer Modellrechnung – nach Angaben von ST-PIERRE et al. (2003) – betragen die jährlichen Verluste durch Hitzestress im

Milchviehsektor der USA etwa 897 Millionen US-\$. Seitens der Verfahrenstechnik wird als Problemlösung bei Hitzestress in Milchviehställen eine angepasste Lüftung empfohlen beziehungsweise mit der Installation von Sprüh- und Verneblungstechnik zur Abkühlung der Kühe in der wärmeren Jahreszeit reagiert (BRADE 2013, HEIDENREICH 2010). Durch die Erhöhung der Luftwechselraten kann die Temperatur im Stall auch gesenkt werden, allerdings müssen dazu Kaskaden von Ventilatoren kleinerer Bauweise oder große Deckenventilatoren („Langsamläufer“) installiert werden, die Investitionskosten von 10.000 bis 15.000 € zusätzlich erfordern, wenn 300 Kühe im Stall stehen (HEIDENREICH 2010). Die jährlichen Energiekosten bei derselben Herdengröße liegen dabei zwischen 1.600 € (Tunnelventilation mit Kaskadenlüftern) und 1.000 € (Langsamläufer mit 6 m Durchmesser als Deckenventilator). Je nach Bauart verursachen 16 Ventilatoren für eine Tunnellüftung auch einen konstanten Lärmpegel für Mensch und Tier.

Eine Alternative zu erhöhtem Technikeinsatz wäre eine bauliche Veränderung der Stallgebäude mit weniger Eintrag der Sonneneinstrahlung und möglicherweise aktiven Kühloptionen. Dadurch soll so wenig wie möglich Wärme durch das Gebäude selbst verursacht werden, um eine Wärmeableitung durch hohe Luftwechselraten zu vermeiden.

Ziel für die Kühlung eines Kuhstalles aus baulicher Sicht war daher die Reduzierung der Hitzelast (Strahlungswärme) im Kuhstall in der warmen Jahreszeit, ohne zusätzliche Energiekosten für Ventilatoren (energieneutral) und ohne die Erhöhung der Luftfeuchte im Stall durch Sprinkler oder Verneblungstechnik.

Für die Umsetzung sollte ein bestehendes Gebäude mit einer Dachneigung von 15 ° begrünt werden. Dadurch waren die Möglichkeiten für die Dachbegrünung bereits eingeschränkt, da die Begrünung sowohl mit der bestehenden Dachneigung als auch mit einer möglichst geringen Dachlastreserve auskommen musste. Vor dem Hintergrund dieser beiden Faktoren und zusätzlich einer möglichst



Abb. 1: Vorkultivierung der Sumpfpflanzen auf dem Gelände der FAL (Thünen-Institut) in Braunschweig (2005), (Foto: H. Georg).

effizienten Kühlwirkung wurde am Standort Braunschweig (ehemals Versuchsstation der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), heute Thünen-Institut) entschieden, die Dachbegrünung eines Stallgebäudes für 60 Milchkühe als Sumpfpflanzendach aufzubauen.

Idee, Umsetzung und Aufbau des Sumpfpflanzendachs

Die Idee zur Entwicklung des Sumpfpflanzendachs stammt vom Sächsischen Textilforschungsinstitut (STFI) in Chemnitz. Die vom STFI entwickelte Trägermatte Repotex® hatte sich bereits in ähnlichen Anwendungen bewährt. Durch die hohe Transpirationseigenschaft eines Sumpfpflanzendachs (800–1600 mm/m²/Jahr) erhöht sich die Effizienz des Einflusses auf das Mikroklima im Gebäude, also die kühlende Wirkung (BLUMBERG 2019). Für



Abb. 2: Traufseite mit Faserzementdach, Wurzelschutzfolie und Repotex®-Pflanzenmatte (Foto: H. Georg).

die Realisierung des Sumpfpflanzendachs war das Ingenieurbüro Blumberg, Gänsemarkt 10, D-37120 Bovenden verantwortlich. Das Team von M. Blumberg hatte bereits reichlich Erfahrung mit ähnlich gelagerten Projekten und hat diese sicher nicht einfache Aufgabe einer Kuhstalldachbegrünung praktisch gut gelöst. Die für das Sumpfpflanzendach notwendige Bepflanzung wurde in Anzuchtbecken (Abb. 1) in der Nähe des Stalles vorkultiviert. Für die Bepflanzung wurden folgende Pflanzen verwendet (Tabelle 1).

Tab. 1: Übersicht der verwendeten Sumpfpflanzen zur Dachbegrünung (Blumberg 2019)

Botanischer Name	Deutsche Bezeichnung
<i>Caltha palustris</i>	Sumpfdotterblume
<i>Carex gracilis</i>	Scharfe Segge
<i>Carex riparia</i>	Ufer Segge
<i>Iris pseudacorus</i>	Sumpfschwertlilie
<i>Lychnis flos-cuculi</i>	Kuckucks-Lichtnelke
<i>Lysimachia nummularia</i>	Pfennigkraut
<i>Lythrum salicaria</i>	Blutweiderich
<i>Menta aquatica</i>	Wassermintze
<i>Mimulus luteus</i>	Gauklerblume
<i>Myosotis palustris</i>	Sumpfergissmeinnicht

Die Installation der etwa 1,2 m breiten Pflanzmatten erfolgte Ende 2005 auf dem Dach eines bestehenden Stallgebäudes mit einer 15 ° geneigten Faserzementeindeckung. Die Dachfläche mit

Pflanzendeckung betrug 834 m². Zum Schutz des Daches wurden die Pflanzmatten auf einer Wurzelschutzfolie und einem Vlies aufgelegt. Für die Wasserversorgung der Pflanzen wurde eine automatische Bewässerungsanlage installiert, die segmentweise die bepflanzten Repotex-Matten mit Wasser von der Firstlinie aus zu beiden Seiten versorgte (Abb. 3). Die Ableitung des überschüssigen Wassers erfolgte über die vorhandenen Regenrinnen (Abb. 2).

Durch die Vorkultivierung der Matten konnte im folgenden Jahr (2006) eine durchgehende Bedeckung mit Pflanzen und damit eine vollständige Funktionsfähigkeit des Daches erreicht werden (Abb. 4).

Stallgebäude und Versuchsmessung

Für die Dachbegrünung wurde ein Milchviehstall der Versuchsstation der FAL gewählt, der idealerweise in paralleler Anordnung zu einem zweiten, baugleichen Stallgebäude stand (Abb. 5). Dadurch konnten die Stalltemperaturen in einem Stall mit Sumpfpflanzendach (60 Kühe) gemessen werden und im Vergleich dazu der Stall mit einem Normaldach, ebenfalls belegt mit 60 Milchkühen. Zur Abschätzung, welche Kühleffekte durch ein Sumpfpflanzendach zu erwarten sind, wurden in den Ställen Temperatur, relative Luftfeuchte und Lichtintensität über den gesamten Zeitraum (2006) mit insgesamt vier Datenloggern gemessen. Je Stallgebäude wurden zwei Datenlogger jeweils in der linken und rechten Stallhälfte in 2,5 m Höhe an Stützen befestigt. Zusätzlich waren im Außenbereich Datenlogger zur Aufzeichnung des Außenklimas angebracht, sowie eine Wetterstation (Reinhardt MWS 10) mit zusätzlicher Aufzeichnung der Globalstrahlung und Niederschlagsmenge zwischen beiden Stallgebäuden. Die Unterdach- und Aufdachtemperaturen wurden im Juni und Juli 2006 mit Hilfe von Thermodrähten kontinuierlich gemessen. An bestimmten Tagen wurden in beiden Ställen auch Unterdachtempera-



Abb. 3: Wasserversorgung der Sumpfpflanzen auf dem Dach (Detailaufnahme), (Foto: H. Georg).



Abb. 4: Sumpfpflanzendach auf einer Dachhälfte des Stallgebäudes (Ostseite) im Juni 2006 (Foto: H. Georg).



Abb. 5: Milchviehanlage der Versuchsstation Braunschweig der FAL im Jahr 2006. Im Vordergrund je zwei Ställe mit je 60 Kühen, ein Stall begrünt mit einem Sumpfpflanzendach (Foto: H. Georg).

turmessungen mit Hilfe eines Infrarotmessgeräts (Raytek) berührungslos durchgeführt.

Ergebnisse

Die Temperaturverläufe in Abbildung 6 zeigen, dass bereits im Mai Stallinnentemperaturen von 25 °C im Normaldach-Stall überschritten werden können. Die Temperaturdifferenzen zwischen

Sumpfpflanzendach und Normaldach sind am frühen Nachmittag am höchsten (bis zu 5 K). Mit Absinken der Außentemperatur auf Werte unter 20 °C nähern sich die Stallinnentemperaturen für beide Ställe wieder. Durch das Sumpfpflanzendach werden die Temperaturspitzen im Tagesverlauf deutlich gekappt. Dies gilt nicht nur für die dargestellten Tage im Mai, sondern generell für alle Tage mit Außentemperaturen über 25 °C.

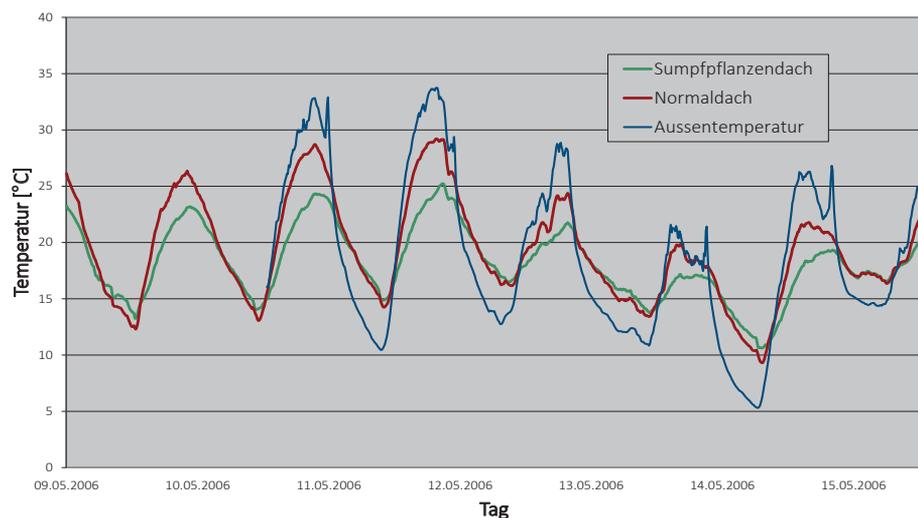


Abb. 6: Temperaturverläufe für den Stall mit Normaldach, den Stall mit Sumpfpflanzendach im Vergleich mit der Außentemperatur Mitte Mai 2006 (Grafiken: H. Georg).

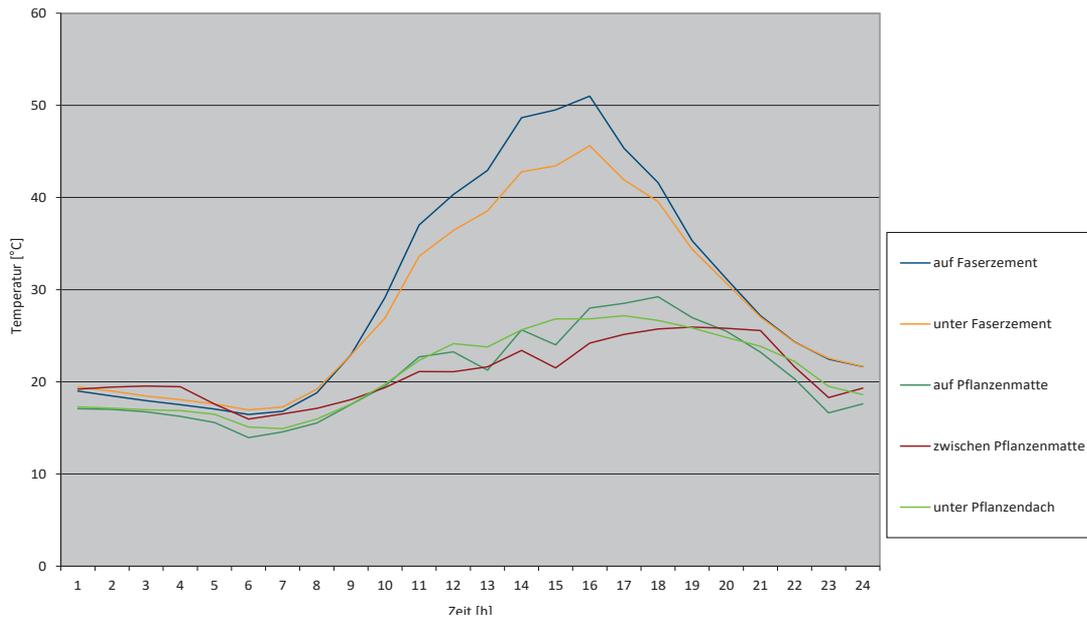


Abb. 7: Tagesgang der Temperaturverläufe auf und unter dem Normaldach sowie zwischen Wurzelschutzfolie und Faserzementdach und unter dem Sumpfpflanzdach, gemessen am 30.7.2006.

In Abbildung 7 ist zur Veranschaulichung der typische Tagesgang für die Temperaturverläufe über 24 Stunden dargestellt. Mit zunehmender Sonneneinstrahlung erwärmt sich das Faserzementdach sehr viel stärker als das begrünte Sumpfpflanzdach. Unter dem Normaldach (Faserzementplatten) werden Temperaturen zwischen 45 °C und 50 °C erreicht, die entsprechend in den Stallraum abstrahlen. Für das Sumpfpflanzdach konnten zum gleichen Zeitpunkt Werte um 25 °C unter dem Dach gemessen werden. Parallele Messungen mit und ohne Bewässerung des Sumpfpflanzdachs zeigen für die Unterdachtemperaturen bei Bewässerung um 4–5 K niedrigere Werte an (Tab. 2) Die Messung erfolgte allerdings nicht am selben Tag wie die Tagesverläufe in Abbildung 7.

Neben den messbaren positiven Ergebnissen der Temperaturabsenkung im Stall wurden im praktischen Umgang mit dem Sumpfpflanzdach weitere ökologische Effekte („Ökosystemleistungen“) beobachtet, wie die positive Wirkung auf Insekten (Abb. 8) und die Dämmwirkung des Sumpfpflanzdachs im Winter. In der Winterphase wirkt die Repotex-Matte mit den Sumpfpflanzen als Wärmedämmung auf dem Dach, die Stall-

linnentemperaturen sind daher im Winter unter dem Sumpfpflanzdach moderater. Im Grunde werden sowohl Hitze- als auch Kältespitzen durch die Dachbegrünung mit dem Sumpfpflanzdach gekappt oder gemildert.

Aus Anwendersicht ergeben sich noch folgende weitere Vorteile und Möglichkeiten eines Sumpfpflanzdachs:

- Wasserretention (durch Speicher bzw. Zisterne),
- Grauwasseraufbereitung, Abwasserrecycling,
- Insektenattraktivität, erhöht die Biodiversität am Stall,
- Geringes Gewicht, daher auch für nachträgliche Begrünung geeignet,
- Zusätzlicher kühlender Effekt durch die Bewässerung und Evapotranspiration der Pflanzen,
- Geringer Energieverbrauch,
- Möglicherweise höhere Akzeptanz bei Baugenehmigungsverfahren („passt besser ins Landschaftsbild“).

Für den Einsatz eines Sumpfpflanzdachs in der Milchviehhaltung ist neben den oben genannten

Tab. 2: Mittelwerte der Temperatur an der Dachunterseite (25.7.06 13-14 h) (Mittelwerte mit verschiedenen Indizes (a, b, c) unterscheiden sich höchst signifikant $p < 0,0001$)

	Sumpfpflanzdach		Faserzementdach	
	ohne Bewässerung	mit Bewässerung	Messpunkt 1	Messpunkt 2
Mittelwert	29,9a	25,9b	55,6c	55,9c
Standardabweichung	0,8	1,0	3,2	3,3

ökologischen Effekten der Kühlungseffekt ein großer Vorteil gegenüber den herkömmlichen Verfahren, die entweder zusätzliche Energie benötigen oder zu einer Erhöhung der Luftfeuchtigkeit im Stall führen. Um den Kühlungseffekt optimal nutzen zu können und um die Überlebensfähigkeit des Sumpfpflanzendachs zu sichern, ist in jedem Fall eine automatische Bewässerung des Daches notwendig. Idealerweise sollte die Bewässerung des Sumpfpflanzendachs über eine Zisterne erfolgen, in die überschüssige Dachabwässer über die Regenrinne zurückgeleitet werden. Dadurch wird durch das Sumpfpflanzendach nur die Wassermenge verbraucht, die von den Pflanzen benötigt wird. Die Nährstoffzuführung des Sumpfpflanzendachs kann durch die Beschickung mit Grauwässern (Grauwasserrecycling) erfolgen, die im Milchviehstall oder im landwirtschaftlichen Haushalt (Waschmaschinen für Euterreinigungstücher) anfallen können. Ist dies nicht möglich, muss das Sumpfpflanzendach 1–2 mal jährlich von Hand gedüngt werden. Der Wasserverbrauch in den Monaten Juni und Juli (2006) betrug etwa 2,2 m³ je Tag. Allerdings war der Verbrauch zu diesem Zeitpunkt nicht optimiert, da feste Bewässerungszeiten in der Vegetationsphase verwendet wurden. Wassereinsparungen wären technisch durch Sensoren zur Erfassung des Niederschlags und der Feuchtigkeit der Repotex-Matte möglich gewesen, konnten aber aus Zeitgründen (Auflösung des Instituts) nicht mehr realisiert werden. Denkbar wäre auch die Einbindung der Stallinnentemperatur als Steuergröße zur Bewässerungssteuerung gewesen, um an sehr heißen Tagen die Kühlwirkung durch zusätzliche Bewässerung zu verstärken. Die Bewässerungspumpe könnte energetisch neutral über eine Photovoltaikanlage betrieben werden, so dass keine Energie von außen zugeführt werden müsste. Ohnehin steht an heißen Tagen auch entsprechend mehr Solarenergie zur Verfügung. Der (einzige) Nachteil für das Sumpfpflanzendach lag bislang eher auf der Kostenseite, mit den Zahlen des Aufbauperioden 2005/2006



Abb. 8: Die Vegetation des Sumpfpflanzendachs ist attraktiv für verschiedenste Insektenarten (22.7.2006), (Foto: H. Georg)

geschätzt betrug der Preis ca. 100 €/m². Hier muss man allerdings auch den Prototypeffekt berücksichtigen.

Fazit

Das Sumpfpflanzendach bietet viele Vorteile, die zum Teil nicht honoriert werden, wie zum Beispiel die Rückhaltefähigkeit beziehungsweise Rückführung und Verdunstung der Dachabwässer, der Biodiversitätseffekt und so weiter. Für das Tierwohl der durch die Sommerhitze gestressten Kühe ist das Sumpfpflanzendach in jedem Fall ein Gewinn, der sich auf Mensch und Tier gleichermaßen positiv auswirkt.

KONTAKT

Thünen-Institut für Ökologischen
Landbau
Trenthorst 32, 23847 Westerau
Dr. Heiko Georg
E-Mail: heiko.georg@thuenen.de



LITERATUR

- Blumberg, M. (2019): Sumpfpflanzendächer, eine besonders vielseitige innovative Variante der Dachbegrünung, <https://blumberg-engineers.com/de/22/sumpfpflanzendaecher> (Zugriff: 15.04.2019).
- Brade, W. (2013): Milcherzeugung unter den Bedingungen des Klimawandels – Möglichkeiten zur Vermeidung oder Minderung des Hitzestresses. In: Berichte über Landwirtschaft Zeitschrift für Agrarpolitik und Landwirtschaft, 91, S. 1–26.
- Cook, N.B.; Mentink, R.L.; Bennett, T.B.; Burgi, K. (2007): The Impact of Mild Heat Stress and Lameness on the Time Budgets of Dairy Cattle. In: Sixth International Dairy Housing Conference Proceeding, 16-18 June 2007, (Minneapolis, Minnesota) (Electronic Only). St. Joseph, MI.
- Heidenreich, T. (2010): Zeitgemäße Stallkonstruktionen und Belüftungssysteme für Milchviehställe (2010-01-13). LVA Eichhof.
- Noordhuizen, J.; Bonnefoy, J.M. (2015): Heat Stress in Dairy Cattle: Major Effects and Practical Management Measures for Prevention and Control. In: SOJ Veterinary Sciences, 1, S. 1–7.
- Polsky, L.; von Keyserlingk, M.A.G. (2017): Invited review: Effects of heat stress on dairy cattle welfare. In: Journal of Dairy Science, 100, S. 8645–8657.
- Schaack, D.; Rampold, C.; Behr, H.-C. (2017): Microsoft Word – AMI_Marktstudie_Bio-Strukturdaten_2016. In: AMI Markt Studie, S. 1–20.
- Schüller, L.K.; Burfeind, O.; Heuwieser, W. (2014): Impact of heat stress on conception rate of dairy cows in the moderate climate considering different temperature-humidity index thresholds, periods relative to breeding, and heat load indices. In: Theriogenology, 81, S. 1050–1057.
- St-Pierre, N.R.; Cobanov, B.; Schnitkey, G. (2003): Economic Losses from Heat Stress by US Livestock Industries¹. In: Journal of Dairy Science, 86, E52-E77.
- Statistisches Bundesamt (2011): Land- und Forstwirtschaft, Fischerei. Wirtschaftsdünger, Stallhaltung, Weidehaltung, Landwirtschaftszählung/ Agrarstrukturerhebung 2010. Online verfügbar unter: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/LandForstwirtschaft/Produktionsmethoden/Stallhaltung_Weidehaltung.html, zuletzt überprüft am 11.10.2016.

Parameterermittlung an Sumpfpflanzen in unterschiedlichem Maßstab

Sollen Sumpfpflanzen noch effektiver auf Gebäudedächern eingesetzt werden, sind detaillierte Kenntnisse zur Leistungsfähigkeit dieser Pflanzen, zum Gesamtgewicht, zur Klimawirkung und zu Effekten auf die Biodiversität nötig. Diese Parameter werden je nach Anforderung vom Labor bis zur Pilotanlage ermittelt.

*Ralf Trabitzsch, Andreas Zehnsdorf, Uwe Schlink, Detlef Bunge, Holger Weiß
(Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ)*



Am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ werden Wirkung und Leistungsfähigkeit von Gründächern – speziell von Sumpfpflanzendächern – in unterschiedlichen Größenskalen erforscht. Im Labor gewonnene Erkenntnisse können unter kontrollierten Bedingungen in den Praxismaßstab überführt werden. Hier eingebettete interdisziplinäre Projekte lassen sich durch die Kooperation von Mitarbeitern aus verschiedenen Departments effizient realisieren. Die Koordination der Forschungen zu Sumpfpflanzendächern erfolgt am Department Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum – UBZ.

Labormaßstab

Grundlegende Untersuchungen, beispielsweise zur Interaktion von Mikroorganismen und Sumpfpflanzen, können am besten in Klimakammern im Labormaßstab durchgeführt werden (Abb. 1). Durch definierte Umweltbedingungen, genauer Kenntnis der eingesetzten Nährlösungen und Verwendung mehrerer Parallelansätze lassen sich die Ergebnisse statistisch absichern und ihre Reproduzierbarkeit sicherstellen. Die detaillierten Untersuchungen sind die Basis für die Anwendung

Technische Daten

- **Klimaschrank:** Firma RUMED, Typ 1301
- **Parameter:** Temperatur 20 °C, Feuchte 75 %, Tag-Nacht-Rhythmus 12 Stunden
- **Kulturmedium:** Leitungswasser mit 1 g/L Dünger „Hakaphos spezial“ + Spurensalzlösung
- **Bisher untersuchte Pflanzen:** *Acorus calamus*, *Carex acutiformis*, *Phragmites australis*

der Kenntnisse in größeren Versuchsanlagen. Diese Arbeiten erfolgen in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Jochen A. Müller vom Department Umweltbiotechnologie.

Der Labormaßstab eignet sich besonders für Versuche, die prinzipiell interessant sind, deren praktische Durchführbarkeit aber erst getestet werden soll. Dazu gehört zum Beispiel eine bepflanzte mikrobielle Brennstoffzelle (Abb. 2),



Abb. 1: Pflanzen vom Kalmus (*Acorus calamus*) in der Klimakammer (Fotos: A. Zehnsdorf).

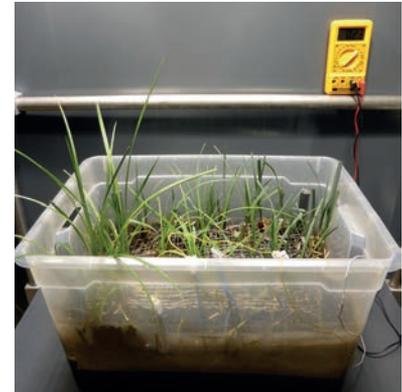
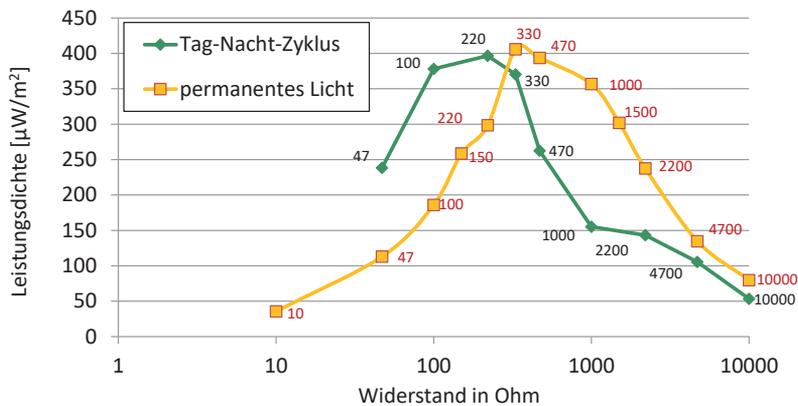


Abb. 2: Versuchsaufbau mit der Sumpfschilf (*Carex acutiformis*) als beplante mikrobielle Brennstoffzelle (Grafik und Foto: A. Zehndorf).

die perspektivisch Energie aus einem Sumpfpflanzengründach gewinnen kann, um damit eine energieautarke Überwachung von Trockenheit und Frost zu realisieren. Bearbeitet wird dieses

Thema in Kooperation mit PD Dr. Falk Harnisch vom Department Umweltmikrobiologie.

Flachlysimeter

Für möglichst genaue Untersuchungen unter Freilandbedingungen, insbesondere bezüglich Evapotranspiration, Bewässerung, Durchwurzelungsverhalten, dem Testen von Sensoren für diverse Messungen und Regelungen eignen sich Kleinlysimeter. In Geräten dieser Größenordnung lassen sich die verwendeten Substrate und Pflanzen schnell und unkompliziert austauschen. Die Sensor- und Regelungstechnik lässt sich leicht austauschen, kombinieren und die Daten können mit einem hohen Grad an Flexibilität über Datenlogger erfasst und anschließend ausgewertet werden. In diesem Maßstab sind die nötigen Investitionen überschaubar, so dass verschiedenste Möglichkeiten schnell und kostengünstig getestet werden können. Durch eine entsprechende technische Ausrüstung ist der ganzjährige Freilandeinsatz möglich, was auch die Untersuchung

Technische Daten

- **Kultivierungsbox:** vier Stück mit einem Volumen von je 0,054 m³, 2 x bepflanzt, 2 x Referenz
- **Kulturmedium:** Leitungswasser mit 1 g/L Dünger „Hakaphos spezial“ + Spurensalzlösung
- **Technische Ausstattung:** Katode: Edelstahl, Oberfläche 0,062 m², Anode: Graphit, Oberfläche 0,038 m²
- **Parameter:** Tag-Nacht-Rhythmus mindestens 12 Stunden; permanent Licht; ohne Licht
- **Bisher untersuchte Pflanzen:** *Carex acutiformis*



Abb. 3: Sumpfpflanzen (*Carex acutiformis*) in einem Flachlysimeter mit feuchteabhängiger Bewässerungsregelung, Wasserbilanzierung und Temperaturmessung (Foto: A. Zehndorf).

Technische Daten

- **Flachlysimeter:** Firma UGT Müncheberg, Edelstahl, Fläche 0,64 m², Messbereich 0 ... 120 kg
- **Messung:** Bewässerungswasser, Ablaufwasser, Niederschlag (benachbarte Wetterstation), Feuchte und Temperatur im Substrat
- **Parameter:** Freilandaufstellung, geeignet für Winterbetrieb, feuchteabhängige Bewässerung
- **Bisher untersuchte Pflanzen:** *Carex acutiformis*

unter winterlichen Bedingungen (Frost, Schnee, Eis usw.) zulässt (Abb. 3). Mithilfe der Lysimeter können die Wasser- und die Energiebilanz *in situ* gemessen werden. Darüber hinaus können sie mit Sensoren für die Bestimmung der Kohlenstoff- und Stickstoffbilanzen kombiniert werden. Die so gewonnenen Daten tragen zu einem Prozessverständnis der Klimawirkungen eines Gründachs bei (SUN et al. 2013). Vielversprechende Ansätze können, nachdem sie sich in diesem Maßstab bewährt haben, in den Pilotmaßstab überführt werden.

Halbtechnischer Maßstab

Im halbtechnischen Maßstab werden Versuche über einen längeren Zeitraum und unter Freilandbedingungen durchgeführt. Zur einfacheren Bedienung, insbesondere bei notwendiger Erweiterung der Messtechnik oder Änderung der Parameter und Ausrüstung, werden die Tests ebenerdig durchgeführt. Das hier dargestellte Sumpfpflanzendach besteht aus einer Holzkonstruktion mit 4,4 m Länge und 1,1 m Breite.

Es wurde mit einer Neigung von 15 ° realisiert

(Abb. 4) und entspricht den von der Firma Rhizotech bereits in der Praxis mit Regenwasser erprobten Konstruktionsvorgaben. Zur Wasserversorgung wurde in die Holzkonstruktion ein 200 Liter fassender Tank als „Minizisterne“ eingebaut. Die Bewässerung der Sumpfpflanzenmatte erfolgt zeitgesteuert an der oberen Stirnseite der Konstruktion über die gesamte Breite mittels einer Pumpe und eines mit Bohrungen versehenen PVC-Rohrs. Die eingestellte Flächenbelastung betrug über die gesamte Vegetationsperiode 2017 täglich 10 Liter Wasser pro Quadratmeter (STOCK 2015, WANKE 2015, ZEHNSDORF et al. 2016). Das reichte aus, um die Pflanzenmatte immer feucht zu halten. Im späteren Praxiseinsatz könnte die nötige Nährstoffzufuhr und Basiswasserversorgung durch die Verwendung von Grauwasser erfolgen (ZEHNSDORF et al. 2019). Als Pflanze kam ein von der Gärtnerei Rhizotech (Rosdorf) zweijährig vorkultivierter Vegetationsträger mit der Sumpf-Segge (*Carex acutiformis*) als Hauptbestandbildner zum Einsatz. In geringer Anzahl waren Blaugrüne Binse (*Juncus inflexus*), Flatterbinse (*Juncus effusus*), Ufer-Segge (*Carex riparia*) und Blutweiderich (*Lythrum salicaria*) vorhanden. Da das Sumpfpflanzendach seit 2017 Teil einer Ausstellung im Botanischen Garten Leipzig ist, wurden aus ästhetischen Gründen



Abb. 4: Sumpfpflanzendach (ganz rechts), extensiv begrüntes Dach (Mitte), Gründach mit regionaler Pflanzenmischung (links) und Kiesdach unmittelbar nebeneinander im Botanischen Garten Leipzig 2017 (Foto: A. Zehnsdorf).



Abb. 5: Test unterschiedlicher Sensoren und Messtechnik an den verschiedenen Dächern (Foto: I. Grommlich).

Sumpfschwertlilie (*Iris pseudacorus*), Pfennigkraut (*Lysimachia nummularia*) und Sumpf-Vergissmeinnicht (*Myosotis scorpioides*) ergänzt. In der 28. und 32. Kalenderwoche 2017 wurde gedüngt, wodurch die Pflanzen deutlich üppiger wuchsen als bei reiner Regenwasserbewässerung. Teil des Konzeptes der Ausstellung sind zudem ein extensiv begrüntes Dach, ein mit einer regionalspezifischen Pflanzenmischung „Leipziger Mischung“ begrüntes Dach und ein Kiesdach (Abb. 4). Durch die räumlich nahe Aufstellung aller drei Dachbegrünungsvarianten waren in der Vegetationsperiode 2017 verschiedene Vergleichsmessungen und der Test unterschiedlicher Sensortechnik möglich (ZEHNSDORF 2018), (Abb. 5). In Zusammenarbeit mit Herrn Prof. Dr. Uwe Schlink vom Department Stadt- und Umweltsoziologie wurden hier Auslegungsparameter für das Forschungsgründach ermittelt.

Technische Daten

- **Pilotanlage:** Eigenbau UFZ Werkstatt, Holzkonstruktion mit 4,4 m Länge; 1,1 m Breite und 15 ° Neigung, wasserspeichernde Matte *Repotex D*
- **Parameter:** Freilandaufstellung, zeitgesteuerte Bewässerung, temporäre Feuchte + Temperaturmessung
- **Bisher untersuchte Pflanzen:** Mischbepflanzung aus: *Carex acutiformis*, *Juncus inflexus*, *Carex riparia*, *Lythrum salicaria*, *Iris pseudacorus*, *Lysimachia nummularia*, *Myosotis scorpioides*

Pilotanlage - Forschungsgründach

Zur interdisziplinären Lösung aktueller Forschungsfragen bezüglich der optimierten Wirkung von Gründächern im urbanen Raum, mit dem Schwerpunkt der Ertüchtigung für das Regenwasser- und Grauwassermanagement sowie der innerstädtischen Klimaverbesserung (z. B. Verringerung von Wärmeinseln), wird 2019 am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung ein Forschungsgründach errichtet.

Zur ganzheitlichen Bewertung der Leistung von Gründächern im urbanen Raum sollen mit dieser Infrastruktur vorerst folgende Themen bearbeitet werden:

- Regenwassermanagement mit verdunstungsoptimierten Gründächern (Prof. Dr.-Ing. Andreas Zehnsdorf, Department Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum)
- Untersuchung und Modellierung der Auswirkung von Gründächern auf das Klima von Gebäuden und Städten (Prof. Dr. U. Schlink, Department Stadt- und Umweltsoziologie)
- Entwicklung eines energieautarken Gründaches (PD Dr. F. Harnisch, Department Umweltmikrobiologie)
- Modellierung der Pflanzenentwicklung und des Pflanzenmanagements auf Gründächern (Dr. F. Taubert, Department Smarte Modelle und Monitoring)
- Biodiversitätsuntersuchungen zur Wirkung von (bewässerten) Gründächern auf Tiere und Pflanzen (Prof. Dr. K. Henle, UFZ Department Naturschutzforschung, Prof. Dr. S. Knapp, UFZ Department Biozönoseforschung und Technische Universität Berlin, Dr. D. Schlosser, Department Umweltmikrobiologie, Dr. S. Schmauck, Bundesamt für Naturschutz, Dr. P. Otto, Universität Leipzig) (Abb. 6)



Abb. 6: Blütenbesuchendes Insekt am Blutweiderich des Sumpfpflanzendaches (Foto: A. Zehnsdorf).

- Monitoring des Eintrags von organischen Schadstoffen (Dr. A. Paschke, Department Ökologische Chemie)

Vier Flächen von jeweils 80,5 m² – **A**: extensiv begrünt, **B**: einfach intensiv begrünt, **C**: mit Sumpfpflanzen besetzt, **D**: Kies – stehen für die Untersuchungen zur Verfügung (Abb. 7).

Die einzelnen Forschungsflächen wurden mit einer Grundausrüstung an Infrastruktur ausgerüstet und können je nach Bedarf messtechnisch erweitert werden. Diese Gründächer sollen in den nächsten 20 Jahren für die Realisierung von Forschungsarbeiten, die Optimierung von technischen Weiterentwicklungen und die Durchführung von studentischen Qualifizierungsarbeiten zur Verfügung stehen.

Ausblick

Weltweit wachsen Metropolen rasant. Diese Entwicklung, verschärft durch globale Erwärmung und Klimawandel, zeigt sich auch in Deutschland und bringt zwangsläufig auch Veränderungen gesellschaftlicher, wirtschaftlicher, kultureller, infrastruktureller und ökologischer

LEGENDE

	Verdunstungsintensives Gründach
	Sumpfpflanzendach
	Extensives Gründach
	Referenzdach ohne Bepflanzung
	Wegführung/Treppen

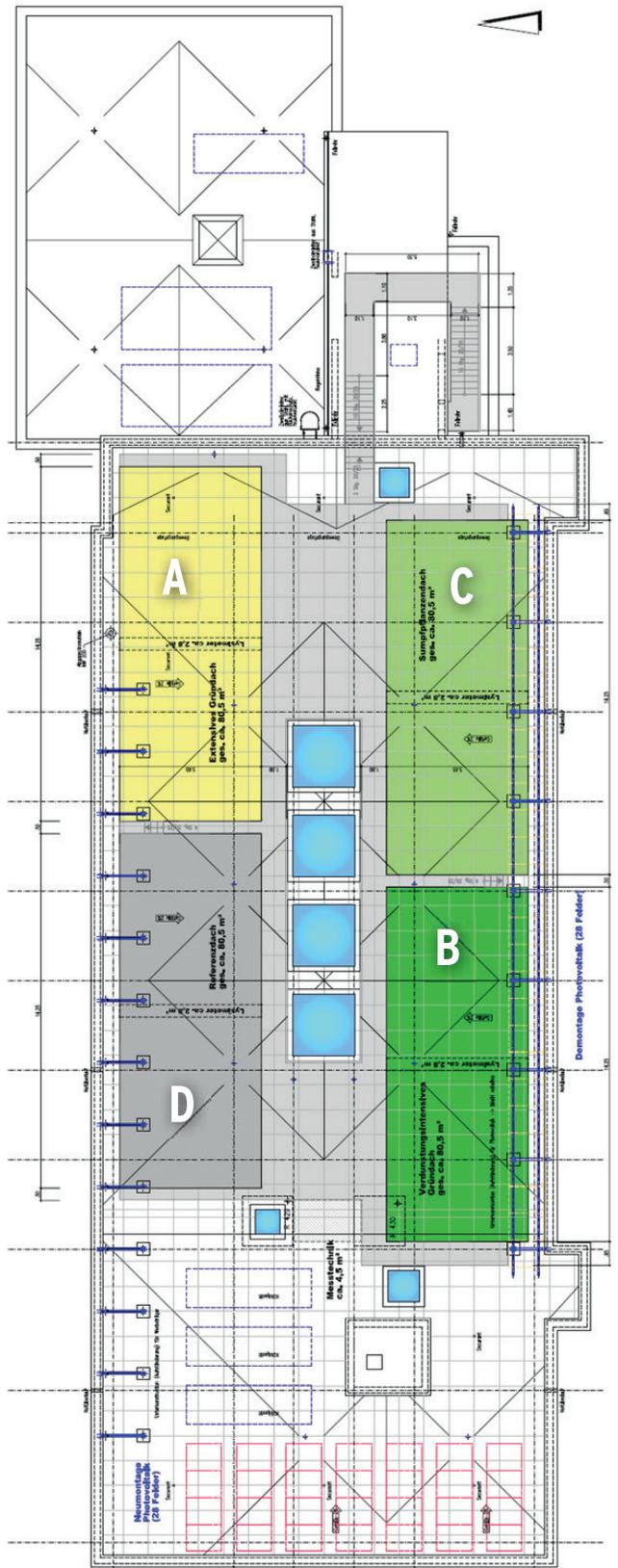


Abb. 7: Detailzeichnung Dachdraufsicht Pilotanlage Forschungsgründach (Zeichnung: BAUPLAN).

Rahmenbedingungen mit sich. Daher stehen die Städte vor unterschiedlichen Herausforderungen, um tragfähige Lösungen für eine nachhaltige Stadtentwicklung zu konzipieren, so unter anderem für den Umwelt- und Naturschutz innerhalb des städtischen Raums.

Technische Daten

- **Forschungsgründach:** Planung BAUPLAN, 4 Forschungsflächen á 80,5 m²
- **Parameter:** Freilandaufstellung auf UFZ Gebäude 7.1 in Leipzig, zeitgesteuerte, später ereignisgesteuerte Bewässerung, Zulauf-, Ablaufmessung, Wetterstation
- **Geplante Bepflanzung:** extensiv, einfach intensiv, Sumpfpflanzen, Referenz: Kies

In urbanen Zentren werden in absehbarer Zukunft immer weniger ökologisch wertvolle Grünflächen zur Verfügung stehen, da der Nutzungsdruck auf bisher unbebaute Flächen und somit deren Verlust dramatisch zunehmen wird. Als Alternative zu den klassischen innerstädtischen Grün- und Brachflächen mit ihren ökologisch wertvollen Ruderalzönosen (Lebensgemeinschaften auf Brachflächen) bietet sich die Nutzung von Flächen aus „zweiter Hand“, beispielsweise Gebäudedachflächen an. Der Intensivierung der Dachbegrünung wird auch mit Blick auf Regenwassermanagement,

Biodiversität und Mikro-/Stadtklima eine wesentliche Rolle zukommen. Aus diesem Grunde realisiert das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ eine Forschungsinfrastruktur auf dem Gelände des UFZ in Leipzig (siehe Abschnitt „Forschungsgründach – Pilotanlage“). Das Bauvorhaben soll im Jahr 2019 abgeschlossen sein; anschließend werden die Forschungsarbeiten beginnen. Die Anlage ist für eine Betriebszeit von 20 Jahren ausgelegt; in dieser Zeit werden vergleichende Untersuchungen zu extensiven und intensiven Bepflanzungen sowie zum Bewuchs mit Helophyten (Sumpfpflanzen) durchgeführt werden. Der Forschungszeitraum von 20 Jahren ermöglicht zudem repräsentative Zeitreihen zur Erfassung langfristiger ökologischer Prozesse und die Entwicklung unterschiedlicher biozönotischer Sukzessionen.

Ziel ist es letztendlich, dass die Ergebnisse aus diesem Projekt Verwendung in den Fortschreibungen und Evaluierungen von Stadtentwicklungskonzepten finden und zur Verwirklichung von mehr Grün „auf der Stadt“ führen.

KONTAKT

Helmholtz-Zentrum für
Umweltforschung - UFZ
Dipl.-Ing. Ralf Trabitzsch
Telefon: +49 (0)341 235 1590
E-Mail: ralf.trabitzsch@ufz.de



LITERATUR

- Stock, N. (2015): Aufbau und Inbetriebnahme eines energieautarken Sumpfpflanzendaches zur Grauwasserreinigung. HTWK Leipzig, Bachelorarbeit.
- Sun, T.; Bou-Zeid, E.; Wang, Z.-H.; Zerba, E.; Ni, G.-H. (2013): Hydrometeorological determinants of green roof performance via a vertically-resolved model for heat and water transport. *Build. Environ.* 60, 211–224. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.018>
- Wanke, S. (2015): Ecological Treatment of Waste Waters Using Wetland Roofs - Analysing the Cleaning Capacity and Efficiency of Constructed Wetland Roofs. HZ University of Applied Sciences, Vliissingen, The Netherlands, Bachelor Thesis.
- Zehnsdorf, A.; Blumberg, M.; Müller, R. A. (2019): Helophyte mats (wetland roofs) with high evapotranspiration rates as a tool for decentralised rainwater management – process stability improved by simultaneous greywater treatment. *Water Science and Technology: Water Supply*, 19 (3), 808–814.
- Zehnsdorf, A. (2018): Verdunstungsintensive Gründächer für das Regenwassermanagement – Sumpfpflanzen zur Dachbegrünung. *GebäudeGrün*, 2/2018, S. 19–22.
- Zehnsdorf, A.; Stock, N.; Richter, J.; Blumberg, M.; Müller, R. A. (2016): Grauwasserreinigung mit einer Sumpfpflanzenmatte unter Praxisbedingungen. *Chemie Ingenieur Technik*, 88 (8), S. 1138–1144.

Trockenstress bei Sumpfpflanzendächern - Überleben ohne Bewässerung



Sumpfpflanzendächer verdunsten viel Wasser und können somit für das lokale Wassermanagement und die Klimatisierung des urbanen Raums von Vorteil sein. Doch wie lange überleben Sumpfpflanzen wenn die Bewässerung ausbleibt?

Keani C.U. Willebrand, Jan Friesen, Andreas Zehnsdorf (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung)

Wasserbedarf von Sumpfpflanzen

Sumpfpflanzen haben im Vergleich zu auf dem Land wachsenden Pflanzen einen vergleichsweise hohen Wasserbedarf. Die Evapotranspiration¹ von Röhricht beträgt in Europa 1.300 – 1.600 mm pro Jahr² und liegt damit deutlich über den Werten von Nasswiesen mit 1.100 mm pro Jahr (LARCHER 2001). Für *Phragmites australis* wurden in Berlin an einem innerstädtischen Standort sogar Werte von mehr als 2.000 mm pro Jahr ermittelt (FRANCK 2018). Aufgrund ihres hohen Verdunstungspotenzials werden Sumpfpflanzendächer während der Vegetationszeit regelmäßig bewässert (siehe auch Interview mit M. Blumberg, S. 30 in diesem Heft). Eine interessante Frage ist nun, wie lange Sumpfpflanzen überleben können, wenn die Bewässerung beispielsweise durch Stromausfall oder einen Defekt an der Bewässerungstechnik unterbrochen wird. Die Ergebnisse erster Versuche werden im Folgenden vorgestellt.

Bepflanzung von Sumpfpflanzendächern mit handelsüblichen Containerpflanzen

Die einfachste Möglichkeit der Bepflanzung von Sumpfpflanzendächern ist die Verwendung von Containerpflanzen mit einer Pflanzdichte von sechs Pflanzen pro Quadratmeter. Dabei werden

die Pflanzenballen direkt auf die textile Trägermatte gelegt und im Normalbetrieb über diese mit Wasser versorgt. Die Matte wird durch ein Bewässerungssystem feucht gehalten oder besser noch zumindest während der Anwachsphase mit Wasser eingestaut. Wird die Bewässerung durch einen Defekt unterbrochen, verfügen die feuchte Textilmatte und der Wurzelballen über eine Wasserreserve. Ist diese aufgebraucht, trocknet der Wurzelballen schnell aus.

Für den Trockenstressversuch wurde eine plane Fläche mit einer Polyethylen-Folie (PE) bedeckt. Darauf wurde eine textile Matte aus Polyester (Repotex® D) gelegt, die bei Sumpfpflanzendächern als Verankerungsbasis für die Pflanzen und als Wasserspeicher eingesetzt wird. Die verwendete Matte konnte liegend 11,7 Liter Wasser pro Quadratmeter speichern. Auf die wassergesättigte, textile Trägermatte wurden anschließend je drei 9 x 9 cm Containerpflanzen von *Carex acutiformis*, *Acorus calamus*, *Phragmites australis* und *Typha latifolia* gelegt (Abb. 1). *Phragmites australis* und *Typha latifolia* werden für Sumpfpflanzendächer aufgrund ihrer Wuchshöhe und der daraus resultierenden Windlast eher nicht verwendet. Diese Pflanzen wurden trotzdem mit untersucht, da vorrangig die Geschwindigkeit der Austrocknung des Wurzelballens von Interesse war.



Start des Trockenstressversuches



nach acht Tagen ohne Bewässerung



nach anschließenden 28 Tagen im Wasser

Abb. 1: Versuchsaufbau und visuelle Einschätzung der Pflanzen zu Versuchsbeginn, nach acht Tagen ohne Bewässerung und nach anschließenden 28 Tagen in einer Box mit Wasserüberstau der Wurzelballen.

¹ Evapotranspiration = Summe aus der Verdunstung über die Boden- oder Wasseroberfläche und die Transpiration der Pflanzen

² mm = Liter pro Quadratmeter

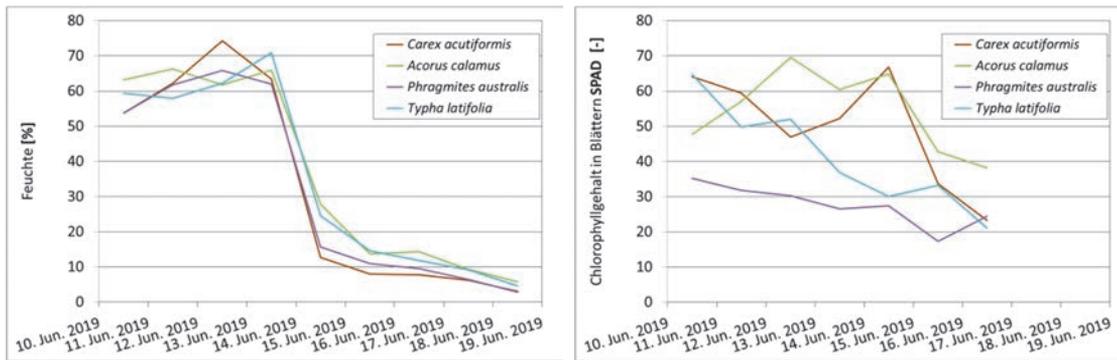


Abb. 2: Verlauf der Feuchte in den Wurzelballen der Sumpfpflanzen (Mittelwerte aus $n = 3$) und des Chlorophyllgehaltes (SPAD) in den Blättern (Mittelwerte aus $n = 10$), ab dem 18.6.2019 war der SPAD nicht mehr messbar.

Über einen Zeitraum von acht Tagen wurden diese Pflanzen nicht bewässert. Täglich wurden die Feuchte im Wurzelballen und der Chlorophyllgehalt in den Blättern (SPAD) gemessen (Abb. 2).

Während die inaktive Bewässerung an den ersten drei Tagen durch reichliche Niederschläge weitgehend kompensiert wurde (Abb. 6), erfolgte die Austrocknung der Wurzelballen am vierten Tag rapide von 60 % bis 70 % auf eine Feuchte von 10 % bis 20 %. Trotz anhaltend hoher Temperatur in der Sonne direkt über den Pflanzen, erfolgte die weitere Trocknung deutlich langsamer. Zum Versuchsende waren alle Pflanzenblätter, bis auf *Acorus calamus*, komplett gelb. Anschließend wurden die Pflanzen 28 Tage in einer Box kultiviert, wobei die Wurzelballen mit Wasser überstaut waren. Bis auf eine Schilfpflanze (*P. australis*) trieben alle Pflanzen wieder aus (Abb. 1, rechts).

Bepflanzung von Sumpfpflanzendächern mit vorkultivierten Pflanzenmatten

Beim Einsatz von vorkultivierten Sumpfpflanzenmatten ist die volle Funktionsfähigkeit des Sumpfpflanzendaches von Anfang an gegeben. Die erforderliche Vorkultivierung erfordert allerdings einen zeitlichen Vorlauf von mindestens einer Vegetationsperiode in der Planung.

Für den Trockenstressversuch wurde ein Becken mittels 10 cm Kanthölzern gebaut und mit einer PE-Folie ausgekleidet. Darin wurde eine Wasserspeicher- und Pflanzenträgermatte als dreidimensionale Gewirkestruktur aus PP- und PES-Vliesstoffstreifen mit gärtnerisch vorkultivierten Sumpfpflanzen vom 26.03.2019 bis 11.06.2019 mit Wasser eingestaut. Die Sumpfpflanzenmatte war 1,7 m lang, 0,7 m breit und der Wurzelraum war 0,1 m stark (Abb. 3).



Abb. 3: Die verwendete Sumpfpflanzenmatte in der Draufsicht (links) und ihr Wurzelraum (rechts).

³ SPAD = „Soil Plant Analysis Development“ - Es handelt sich um eine nicht invasive Messung des Chlorophyllgehalts an den Blättern der Pflanzen. Der Messung liegt die Berechnung des Chlorophyllgehalts auf Grundlage der Absorption der Blätter bei den Wellenlängenbereichen 400 – 500 nm und 600 – 700 nm zugrunde, das Ergebnis ist dimensionslos.

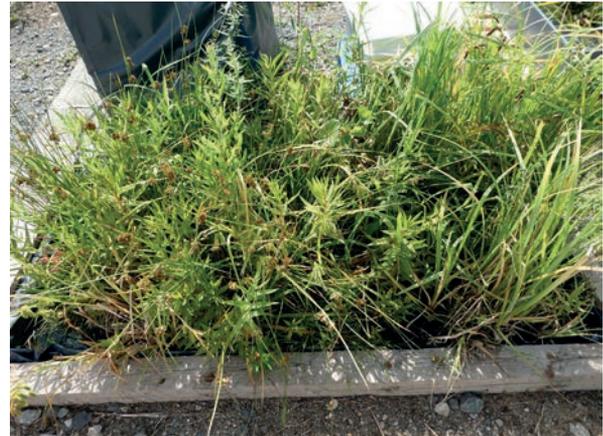


Abb. 4: Pflanzenbestand zum Start des Trockenstressversuches (links) und zum Versuchsende nach acht Tagen ohne Bewässerung (rechts).

Die Hauptpflanzenarten dieser Sumpfpflanzenmatte, die auch im Weiteren näher untersucht wurden, waren *Carex acutiformis*, *Carex pseudocyperus*, *Caltha palustris*, *Lysimachia thyrsiflora*, *Lythrum salicaria* und *Juncus effusus*. Damit wurden jeweils drei Gräser und drei krautige Pflanzenarten näher betrachtet.

Am 11.6.2019 wurde das Kultivierungsbecken geöffnet und das Wasser abgelassen. Während der acht Tage ausbleibenden Bewässerung starb keine der sechs Pflanzenarten vollständig ab (Abb. 4). Irreversibel verwelkte Blätter traten vor allem bei *C. pseudocyperus* und *C. palustris* auf.

Im Wurzelraum der Sumpfpflanzenmatte konnte die Feuchtigkeit deutlich länger gehalten werden als in den Wurzelballen (Abb. 2 und 5). Auch hier wirkte sich der anfängliche Niederschlag günstig auf den Wasserrückhalt aus. Des Weiteren beschattete der gut entwickelte Pflanzenbestand die Wurzelmatte, was auch in der sehr ausgeglichenen Temperatur im Wurzelraum der Pflanzenmatte deutlich wird (Abb. 6).

Zur Kontrolle des Vitalitätszustandes der Sumpfpflanzen wurde neben der Feuchte im Wurzelraum der Chlorophyllgehalt (SPAD) gemessen. Es zeigte sich, dass die Abnahme der Feuchte mit der Änderung des SPAD-Werts bei den untersuchten Pflanzen der Sumpfpflanzenmatte, mit Ausnahme von *L. salicaria*, korreliert (Abb. 5 rechts; Tab. 1).

Tab. 1: Korrelation von SPAD-Wert zur Feuchte in der Pflanzenmatte ($p < 0,05$)

	<i>Carex acutiformis</i>	<i>Carex pseudocyperus</i>	<i>Caltha palustris</i>	<i>Lythrum salicaria</i>	<i>Lysimachia thyrsiflora</i>
r^2	0,8509	0,5528	0,8034	0,4108	0,5288
p	0,0004	0,0217	0,0011	0,0629	0,0264
n	9	9	9	9	9

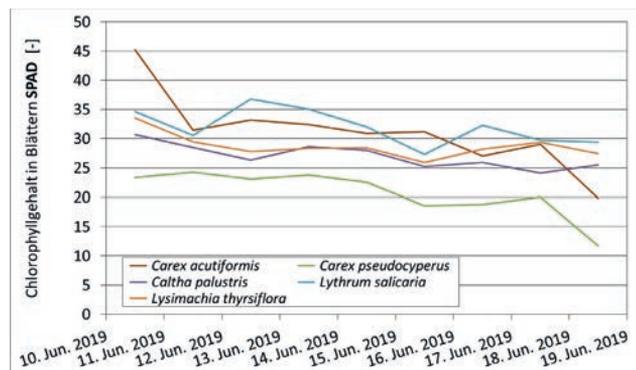


Abb. 5: Verlauf der Feuchte in der Wurzelmatte mit Sumpfpflanzen (Mittelwerte aus $n = 10$) und des Chlorophyllgehaltes (SPAD) in den Blättern der näher untersuchten Sumpfpflanzen (Mittelwerte aus $n = 10$), *Juncus effusus* war aufgrund seiner besonderen Blattform nicht messbar.

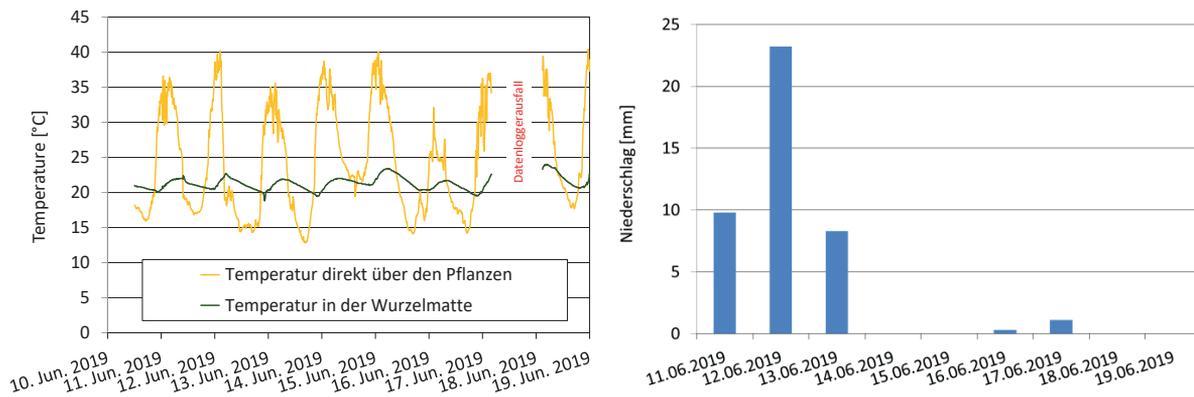


Abb. 6: Temperatur und Niederschlag im Versuchszeitraum (Niederschlagsmessung mit Wetterstation des UFZ - zirka fünf Meter vom Versuchsbecken entfernt).

Neben den direkt an den Pflanzen durchgeführten Chlorophyllmessungen (SPAD), wurden zudem auch systematische Messungen des Blattflächenindex⁴ und Vegetationsindex⁵, sowie photographische Messungen⁶ vorgenommen. Ziel dieser ersten Trockenstressbeobachtungen war es zu erörtern, inwieweit photographische Messungen den Trockenstress abbilden können. Die Messungen wurden jeweils für die Gräser und für die krautartigen Pflanzen der Pflanzenmatte separat durchgeführt.

Im Laufe des Trockenstressversuchs waren deutliche Unterschiede zwischen Gräsern und Kräutern feststellbar (Abb. 7). Allerdings, in Bezug auf den Chlorophyllgehalt (Abb. 5) und einer entsprechenden Abnahme des LAI und NDVI ist für den LAI kaum eine Abnahme erkennbar, während der NDVI gerade bei Gräsern eine deutliche Abnahme

zeigt (Abb. 7), die im Mittel stärker bei den Gräsern als bei den Kräutern stattfindet.

Um zu prüfen, inwieweit die LAI und NDVI Messungen über reguläre Fotografien möglich sind, wurden täglich Fotos der Gräser und der Kräuter im 45 ° Winkel erstellt. Nach ST. PETER et al. (2018) wurden aus den Rot-, Grün- und Blaukanälen der Fotos zwei Vegetationsindizes berechnet, Vlgreen⁷ und ExG⁸. Abbildung 8 zeigt die Zeitreihen der Vlgreen und ExG Werte für die Gräser und die Kräuter, sowie eine Zeitreihe der Vlgreen gefilterten Bilder für Gräser. Erste Resultate zeigen, dass die Gräser deutlich stärker auf eine Feuchteabnahme im Wurzelraum reagieren, was sich sowohl durch die Feuchte- und Chlorophyllmessungen (Abb. 5 und Tab. 1), als auch durch die NDVI und RGB Messungen darstellen lässt

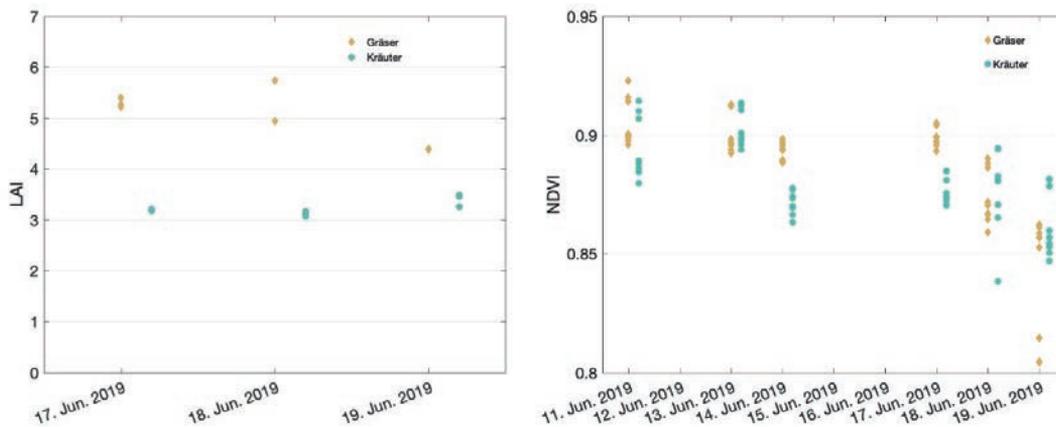


Abb. 7: Zeitreihen für Blattflächenindex (LAI) und Vegetationsindex (NDVI) für die Gräser (helle Rauten) und die Kräuter (grüne Kreise) der Pflanzenmatte.

⁴ LAI = Leaf Area Index

⁵ NDVI = Normierter Differenzierter Vegetationsindex

⁶ RGB = Digitalbilder im RGB (Rot, Grün, Blau) Farbraum

⁷ Vlgreen = normalized difference of the green and red bands = normierte Differenz der grünen und roten Farbkanäle

⁸ ExG = excess green index = Überschussgrünindex

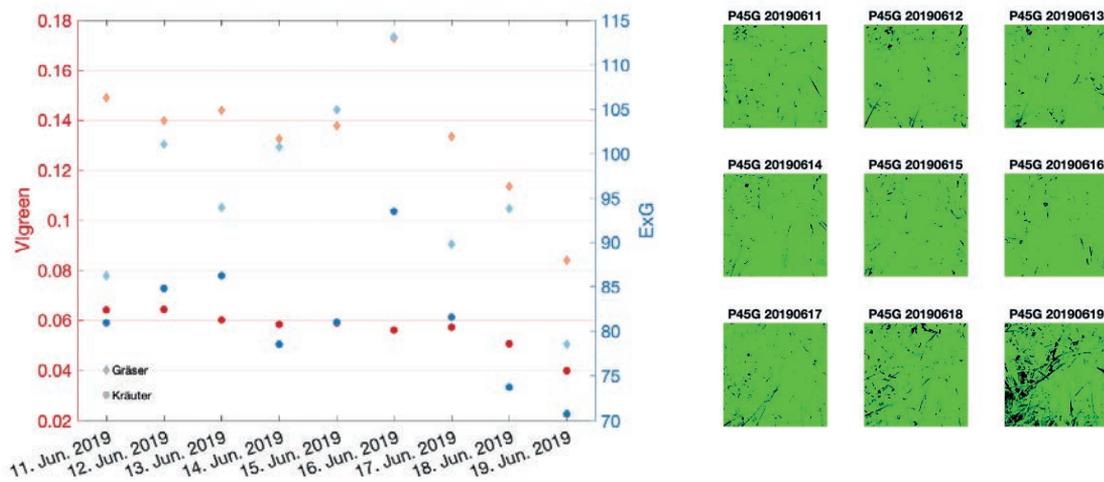


Abb. 8: Zeitreihen für Vegetationsindizes (links) auf Digitalbildbasis (Vlgreen - Rottöne und ExG - Blautöne). Die rechte Seite zeigt die einzelnen Bilder im Vlgreen Filter für die Gräser.

(Abb. 7 und 8). Herauszuheben ist zudem, dass die RGB Messungen der Gräser den Trockenstress gut dokumentieren (Abb. 8), was bei weiteren Versuchen noch vertieft werden soll. Die positiven Ergebnisse der RGB Messungen bedeuten aber auch, dass schon mit kostengünstiger Technik wie Webcams oder Smartphones der Zustand der Pflanzen erfasst und interpretiert werden kann. Dies ist besonders bei der Beurteilung großflächiger Pflanzenbestände, wie beispielsweise auf größeren Sumpfpflanzendächern von Vorteil.

Ausblick

Durch diesen ersten Versuch zur Trockenheitstoleranz von Sumpfpflanzen, insbesondere im Hinblick auf ihren Einsatz auf Sumpfpflanzendächern, konnte gezeigt werden, dass die Pflanzen selbst im Hochsommer, bei starker Sonneneinstrahlung und hoher Umgebungstemperatur, einige Tage ohne Bewässerung ohne bleibende Schäden überstehen können. Dabei reagierten die Gräser deutlich stärker auf eine Feuchteabnahme im Wurzelraum als die krautigen Pflanzen. Weitere Tests über längere Zeiträume und insbesondere über die Winterzeit sollen an der hier beschriebenen Sumpfpflanzenmatte durchgeführt werden.

Dank

Wir danken Herrn Dr. Uwe Kappelmeyer für die Niederschlagsdaten der Wetterstation des Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Herrn Dr. Harald Auge für die Ermittlung der p-Werte und Annika Pabst für die Zusammenstellung der Daten zur Evapotranspiration von Sumpfpflanzen. Jan Friesen dankt auch der Unterstützung durch das EU Projekt TWIGA (grant agreement n. 776691). Der Firma Rhizotech danken wir für die Spende der vorkultivierten Wetland Roof Matte.

KONTAKT

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, Department Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum und University of Colorado at Boulder

Keani C.U. Willebrand
E-Mail: keani.willebrand@colorado.edu



LITERATUR

- Franck, V. M. (2018): The Roof Water-Farm, Stormwater Management Concept, Retention via Evapotranspiration. Masterarbeit, Technische Universität Berlin. In: Roof Water-Farm. Urbanes Wasser für urbane Landschaft; Million, A.; Bürgow, G.; Steglich, A. (Hrsg.), Universitätsverlag TU Berlin, S. 40-43.
- Larcher, W. (2001): Ökophysiologie der Pflanzen, Stuttgart, Eugen Ulmer.
- St. Peter, J.; Hogland, J.; Hebblewhite, M.; Hurley, M.A.; Hupp, N.; Proffitt, K. Linking (2018): Phenological Indices from Digital Cameras in Idaho and Montana to MODIS NDVI. Remote Sens. 10, 1612.

Sumpfpflanzendächer – Rechtliche Rahmenbedingungen

106



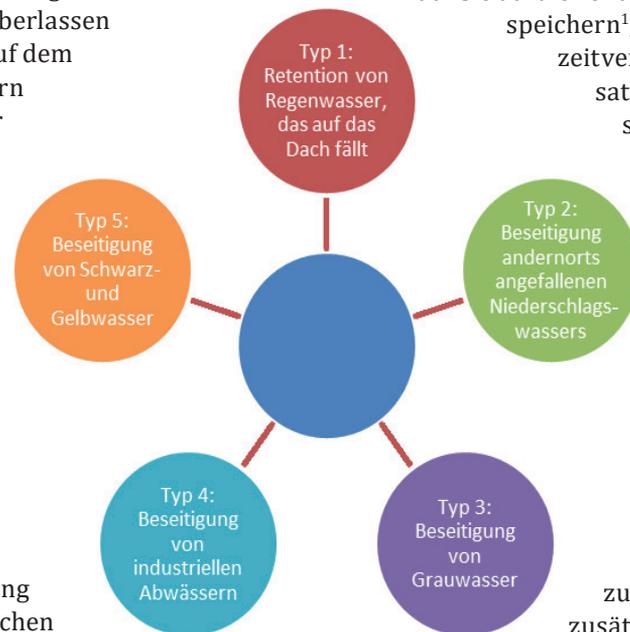
Wer ein Sumpfpflanzendach errichten und betreiben möchte, wird neben den technischen Aspekten auch zu klären haben, welche rechtlichen Anforderungen zu beachten sind und ob eine solche Anlage überhaupt rechtlich zulässig ist.

Henrik Fischer und Moritz Reese (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung)

Welche Anforderungen bei der Errichtung und dem Betrieb eines Sumpfpflanzendaches zu beachten sind, hängt entscheidend davon ab, ob auf dem Dach auch Abwasser im rechtlichen Sinne behandelt werden soll und es sich mithin um eine Abwasseranlage handelt. Denn für Abwasser gilt im Regelfall, dass es an die Träger der öffentlichen Abwasserbeseitigung zu überlassen ist. Für eine Beseitigung auf dem Gründach bedarf es insofern einer Sonderregelung oder Ausnahme. Die Errichtung und der Betrieb von Abwasseranlagen unterliegen außerdem wasserrechtlichen und baurechtlichen Anforderungen. Im Folgenden wird zunächst erläutert, inwieweit die Gründachtechnologie dem Abwasserrecht unterfällt (1.), welche Einschränkungen sich insoweit aus dem Zwang zur Benutzung der öffentlichen Abwasserinfrastruktur ergeben können (2.) und welche Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb als Abwasseranlage zu erfüllen sind (3.). Nur im Überblick kann aufgezeigt werden, wie die Errichtung von Sumpfpflanzendächern durch Bebauungsplanung, naturschutzrechtliche Eingriffsregelung und Städtebauförderung sowie Gebührengestaltung unterstützt werden kann (4.).

1. Sumpfpflanzendächer als Anlagen der Abwasser- vermeidung und/oder Abwasserbeseitigung

Sumpfpflanzendächer unterscheiden sich von herkömmlichen „einfachen“ Gründächern vor allem dadurch, dass sie nicht nur dazu dienen, die auf sie auftreffenden Niederschläge zu speichern¹, zu verdunsten² oder zeitverzögert an die Kanalisation abzugeben. Der besondere „Mehrwert“ der Sumpfpflanzentechnologie liegt darin, dass sie insbesondere auch dazu eingesetzt werden kann, Niederschlagswasser von anderen Flächen oder auch Grau- und Schwarzwasser (dezentral) zu behandeln bzw. – zur Pflanzenbewässerung – zu verwenden. Mit dieser zusätzlichen Funktion der Abwasserbeseitigung verbinden sich auch zusätzliche rechtliche Anforderungen.



Typisierung von Gründächern und Sumpfpflanzendächern nach ihrer Funktion für die Abwasserbeseitigung.

Die unterschiedlichen Funktionen der Sumpfpflanzendachtechnologie sind in nebenstehender Abbildung dargestellt.

¹ König: Starkregen, in: *Transforming Cities* 2017, 52 (55)

² König: Regenwassermanagement, in: *Transforming Cities* 2016, 45 (45)

Typ 1 entspricht dem eines „einfachen“ Gründaches, auf dem lediglich das auf dem Dach auftreffende Wasser zurückgehalten und verdunstet bzw. zur Unterhaltung der Bepflanzung verwendet wird. Diese Funktionen sind bis zu dem Punkt, an dem das (verbleibende) Wasser vom Dach abfließt, rechtlich als *Abwassermeidung* einzuordnen. Auf dem Gründach selbst fällt also weder Abwasser an, noch wird es dort behandelt. Zwar zählt nach der wasserrechtlichen Definition in § 54 Abs. 1 WHG³ zum Abwasser auch das „Niederschlagswasser“. Niederschlagswasser im Rechtssinne ist jedoch gemäß § 54 Abs. 1 Satz 1 Nr. 2 WHG nur dasjenige „Wasser aus Niederschlägen, das aus dem Bereich von bebauten oder befestigten Flächen gesammelt abfließt“. Für die auf ein Gründach treffenden Niederschläge gilt dies nur insoweit, als sie dort nicht zurückgehalten und verdunstet oder für die Pflanzenbewässerung verwendet werden können, sondern – gleichsam im Überlauf – abfließen. Erst der Abfluss (in eine Hausleitung, einen Kanal und Speicher) ist demgemäß als Abwasserbeseitigung zu qualifizieren.⁴ Dies gilt auch für Sumpfpflanzendächer, soweit sie nicht zur Behandlung anderweitig anfallenden Abwassers im Sinne der Typen 2–5 eingesetzt werden.

Letzteres kann indes – wie in diesem Heft näher aufgezeigt wird – ein wesentlicher Zweck und Vorteil der Sumpfpflanzentechnologie sein. Wird Abwasser auf einem Sumpfpflanzendach eingesetzt und dort von den Pflanzen aufgenommen, im Substrat gereinigt, oder direkt verdunstet, so dient das Dach der Abwasserbeseitigung und stellt mithin eine Abwasserbeseitigungsanlage auch im Rechtssinne dar.

Die Abwasserbeseitigung umfasst gemäß § 54 Abs. 2 das Sammeln, Fortleiten, Behandeln, Einleiten, Versickern, Verregnen und Verrieseln von Abwasser. Diese Definition zielt darauf ab, alle Formen der Abwasserbehandlung zu erfassen und umfasst mithin auch das Aufbringen von Abwasser auf Sumpfpflanzendächer. Dabei werden die Verdunstung und der pflanzliche Wasserumsatz

nicht explizit genannt. Die Aufzählung der Behandlungsformen wird jedoch als nicht abschließend betrachtet, und entscheidend kommt es darauf an, dass die einzuordnende Maßnahme auf die Beseitigung von Abwasser und dessen gemeinwohlverträgliche Rückführung in den natürlichen Wasserkreislauf gerichtet ist. Das ist bei der Aufbringung auf Sumpfpflanzendächer ebenso der Fall wie bei den klassischen Maßnahmen der Versickerung oder Verrieselung.

2. Die Abwasserbeseitigung auf Sumpfpflanzendächern als Ausnahme von der öffentlichen Abwasserbeseitigung

Die Beseitigung von Abwasser ist in Deutschland grundsätzlich als eine öffentliche, kommunale Aufgabe organisiert. Die Pflicht zur Abwasserbeseitigung wird auf der Grundlage von § 56 Satz 1 WHG landesrechtlich den Gemeinden und Kreisen auferlegt (bspw. § 46 Abs. 1 S. 1 LWG NW⁵).⁶ Flankierend normieren die Landeswassergesetze eine Pflicht zur Überlassung des Abwassers an die kommunalen Abwasserunternehmen (bspw. § 48 S. 1 LWG NW) und ermächtigen die Gemeinden dazu, ihre Bürger durch Satzung zur Benutzung der öffentlichen Abwasseranlagen zu verpflichten (Anschluss- und Benutzungszwang, bspw. § 9 GO NW). Die private Beseitigung von Abwasser auf einem Sumpfpflanzendach ist deshalb nur zulässig, sofern nach dem maßgeblichen Landeswasserrecht eine Ausnahme von der Überlassungspflicht gewährt wird bzw. werden kann. Die Landeswassergesetze weisen in diesem Punkt relevante Unterschiede auf.

Fast alle Länder sehen explizit Ausnahmen für die dezentrale Niederschlagswasserbeseitigung vor, die Sumpfpflanzendächer des Typs 2 betreffen können. Diese Ausnahmen sind mit Blick auf die privilegierten Technologien unterschiedlich ausgestaltet. Keine Norm verarbeitet Sumpfpflanzendächer oder die Möglichkeit der Beseitigung durch Verdunstung explizit. Die Vorschriften sind teilweise aber technologieneutral und damit offen für neue Technologien wie Sumpfpflanzendächer.

³ Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Dezember 2018 (BGBl. I S. 2254) geändert worden ist.

⁴ Leutner (2016): Recht der Abwasserbeseitigung, S. 148

⁵ LWG wird als Abkürzung für die Landeswassergesetze der Länder verwendet. Im Anschluss folgt eine eindeutige Kennzeichnung des Bundeslandes.

⁶ In 13 von 16 Bundesländern sind die Gemeinden abwasserbeseitigungspflichtig; im Saarland ist die Zuständigkeit geteilt (§ 50 Abs. 1 LWG SL i.V.m. § 1 Abs. 1 EVSG SL), in den Stadtstaaten Hamburg und Berlin finden sich besondere Regelungen.

So steht der Grundsatz der kommunalen Abwasserbeseitigungspflicht Sumpfpflanzendächern des Typs 2 bspw. in Baden-Württemberg oder Sachsen-Anhalt nicht entgegen. In den übrigen Bundesländern gibt es Ausnahmen aber nur, wenn Abwasser dezentral dem Grundwasser bspw. durch Versickerung oder Verrieselung zugeführt wird, so dass Sumpfpflanzendächern auf den ersten Blick die kommunale Abwasserbeseitigungspflicht entgegenstünde. Dennoch sollten diese Regelungen nach Ansicht der Autoren auf das Aufbringen von Niederschlagswasser und dessen *Verdunstung* auf Sumpfpflanzendächern zumindest analoge Anwendung finden. Denn soweit das Niederschlagswasser entweder von den Besatzpflanzen konsumiert wird oder direkt verdunstet oder die Substratschichten des Daches durchströmt, um anschließend zu Bewässerungszwecken verwendet zu werden, erbringt das Sumpfpflanzendach die gleichen Behandlungs- und Beseitigungsleistungen, die mit dem Tatbestand der „Versickerung auf dem Grundstück“ gesetzlich privilegiert werden. Auch wird kein zusätzliches wasserwirtschaftliches Risiko begründet, das eine restriktivere Handhabung rechtfertigen könnte. Gemeinden, die Sumpfpflanzenprojekte unterstützen und zulassen wollen, können sich jedenfalls ohne praktisches Rechtsrisiko auf diese Argumentation berufen. Aus Sicht der Investoren ist freilich eine eindeutige Ausnahmeregelung wünschenswert, die explizit auch die Verdunstung des Wassers umfasst und eine entsprechende Signalwirkung an die Kommunen aussendet.

Diese Analogie ist aber nicht erforderlich, wenn statt der Beseitigung die Verwendung zugelassen ist und es auf die Beseitigung des Niederschlagswassers daher nicht ankommt. Das ist beispielsweise in Sachsen und Mecklenburg-Vorpommern der Fall. Der Einsatz von Niederschlagswasser auf dem Sumpfpflanzendach dient nicht allein dem Zwecke der Beseitigung, sondern auch der Bewässerung des Bewuchses auf dem Dach. Es wird daher zielbezogen eingesetzt, also verwendet und ist entsprechend gegenüber der kommunalen Abwasserbeseitigung privilegiert. Diese für Sumpfpflanzendächer des Typs 2 relevanten Regelungen fasst Tabelle 1 zusammen.

Regelungen für die Verwendung von Abwasser finden sich nicht nur mit Blick auf Niederschlagswasser, sondern seltener auch für Schmutzwasser. So entfällt bspw. in Mecklenburg-Vorpommern die Pflicht zur Beseitigung von Abwasser (also Niederschlagswasser und Schmutzwasser), das



Die Verdunstungsleistung von Sumpfpflanzen ist auch bei moderater Pflanzenhöhe groß, da sie an ein Leben mit hohem Wasserangebot angepasst sind.

noch verwendet werden soll, bspw. zur Bewässerung eines Sumpfpflanzendachs (§ 40 Abs. 3 S. 1 Nr. 4 LWG MV). In Hessen soll Abwasser verwertet werden, was ebenfalls die Nutzung auf Sumpfpflanzendächern erfassen kann (§ 37 Abs. 2 S. 1 LWG He). In Brandenburg ist eine Freistellung von der Abwasserbeseitigungspflicht möglich, wenn das Abwasser auf dem Grundstück im Rahmen geltender Vorschriften genutzt werden kann (§ 66 Abs. 4 Nr. 3 LWG Bbg). Diese Ausnahmen ermöglichen die Sumpfpflanzendächer der Typen 3, 4 und 5.

Die landesrechtlichen Ausnahmen von der öffentlichen Abwasserbeseitigungs- und überlassungspflicht sind nicht nur inhaltlich, sondern auch formal unterschiedlich ausgestaltet: Teils sind die Vorschriften als Ausnahmoptionen an die zuständigen Gemeinden und/oder Wasserbehörden adressiert, die insoweit im Einzelfall zu entscheiden haben. Teils gelten die Ausnahmen unmittelbar kraft Gesetzes; in diesen Fällen werden die Gemeinden aber regelmäßig dazu ermächtigt, abweichende Regelungen durch ihre Entwässerungssatzungen und Abwasserkonzepte zu treffen. In aller Regel kommt es daher auf die kommunale Abwasserbeseitigungskonzeption an und es sollte eine einvernehmliche Lösung mit dem kommunalen Abwasserentsorger angestrebt werden. Nahezu alle Landeswassergesetze sehen ferner

Tabelle 1: Landesrechtliche Regelungen zur dezentralen, privaten Niederschlagswasserbeseitigung

Land	Text	Technologie-neutral?	Verwendung?
Baden-Württemberg	Die Pflicht der Gemeinde entfällt für [...] Niederschlagswasser, welches dezentral beseitigt wird. (§ 46 Abs. 2 Nr. 2 LWG BW)	Ja	Nein
Berlin	Widerruflich für die Beseitigung des Niederschlagswassers, soweit es im Einklang mit den Vorschriften der §§ 29d bis 29f LWG Bln beseitigt wird. (§ 29e Abs. 3 Nr. 2 LWG Bln)	Ja	Nein
Brandenburg	Soweit die Satzung der Gemeinde oder des Zweckverbandes nach § 54 Absatz 4 dies vorsieht, oder soweit eine erlaubnisfreie Benutzung oberirdischer Gewässer nach § 43 Absatz 1 Satz 2 oder des Grundwassers auf der Grundlage einer Verordnung nach § 46 Absatz 2 des Wasserhaushaltsgesetzes erfolgt. Soweit eine Verunreinigung des Grundwassers nicht zu besorgen ist und sonstige Belange nicht entgegenstehen, ist Niederschlagswasser zu versickern. (§ 66 Abs. 2 i.V.m. § 54 Abs. 4 S. 1 LWG Bbg) [...] soweit das Abwasser im Rahmen geltender Vorschriften auf dem Grundstück genutzt werden kann. (§ 66 Abs. 4 Nr. 1 LWG Bbg)	Nein	Ja
Bremen	Widerruflich die Beseitigung des Niederschlagswassers, soweit dieses nach § 44 dezentral beseitigt wird. Die nach § 44 zulässige dezentrale Beseitigung ist begrenzt auf Grundstücke, „die überwiegend der Wohnnutzung oder einer hinsichtlich der Qualität des Niederschlagswasserabflusses vergleichbaren Nutzung dienen“ und „kann im Wege der Versickerung, Verrieselung, ortsnahen direkten Einleitung in ein Gewässer oder Einleitung über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer erfolgen.“ (§ 45 LWG Brem)	Nein	Nein
Hessen	Für Niederschlagswasser, das auf dem Grundstück, auf dem es anfällt, verwertet, verrieselt oder versickert wird. (sofern nicht die Gemeinden durch Ortssatzung anderweitiges regeln) (§ 37 Abs. 5 S. 1 Nr. 2 und S. 2 LWG He)	Nein	Ja
Mecklenburg-Vorpommern	Für Niederschlagswasser, das auf dem Grundstück, auf dem es anfällt, verwertet oder versickert wird. (sofern nicht die Gemeinden durch Ortssatzung anderweitiges regeln) (§ 40 Abs. 3 S. 1 Nr. 2 und S. 2 LWG MV)	Nein	Ja
Niedersachsen	Insgesamt für Niederschlagswasser soweit nicht die Gemeinde durch ihre Entwässerungssatzung den Anschluss an eine öffentliche Abwasseranlage und deren Benutzung vorschreibt oder ein gesammeltes Fortleiten erforderlich ist, um eine Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit zu verhüten. (§ 96 Abs. 3 Nr. 1 LWG Nds)	Ja	Nein
Nordrhein-Westfalen	Sofern gegenüber der zuständigen Wasserbehörde nachgewiesen ist, dass das Wasser auf dem Grundstück, auf dem es anfällt, versickert oder ortsnah in ein Gewässer eingeleitet werden kann, und die Gemeinde den Nutzungsberechtigten von der Überlassungspflicht freigestellt hat. (§ 49 LWG NRW)	Nein	Nein
Rheinland-Pfalz	„...wenn zu dessen Beseitigung keine zugelassenen öffentlichen Abwasseranlagen zur Verfügung stehen und es auf dem Grundstück, auf dem es anfällt, verwertet oder ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit versickert oder in sonstiger Weise beseitigt werden kann.“ (§ 58 Abs. 1 Nr. 2 LWG RP)	Ja	Ja
Saarland	Niederschlagswasser [...] soll von den Eigentümern der Grundstücke oder den zur Nutzung der Grundstücke dinglich Berechtigten im Rahmen der Satzung nach Absatz 3 vor Ort genutzt, versickert, verrieselt oder in ein oberirdisches Gewässer eingeleitet werden [...]. (§ 49a Abs. 1 LWG SL)	Nein	Ja
Sachsen	Für „Niederschlagswasser, das auf dem Grundstück, auf dem es anfällt, verwertet oder versickert werden kann.“ Die Wasserbehörde soll fallbezogen zulassen, dass Niederschlagswasser außerhalb der kommunalen Abwasserbeseitigung auch auf anderen als den Anfallgrundstücken verwertet oder versickert werden kann. (§ 50 Abs. 3 Nr. 2 LWG SN)	Nein	Ja
Sachsen-Anhalt	Insgesamt für Niederschlagswasser soweit nicht die Gemeinde durch ihre Entwässerungssatzung den Anschluss an eine öffentliche Abwasseranlage und deren Benutzung vorschreibt. (§ 79b Abs. 1 LWG LSA)	Ja	Nein
Schleswig-Holstein	Die Gemeinden können entsprechend ihrem Abwasserbeseitigungskonzept in der Abwassersatzung vorschreiben, dass und in welcher Weise Niederschlagswasser auf den Grundstücken, auf denen es anfällt, zu versickern, zu verrieseln oder ortsnah in Gewässer einzuleiten ist, sofern dies ohne unverhältnismäßige Kosten möglich und wasserwirtschaftlich sinnvoll ist. (§ 31 Abs. 3 LWG SH)	Nein	Nein
Thüringen	Niederschlagswasser, das direkt von dem Grundstück, auf dem es anfällt, im Rahmen des Gemeindegebrauchs (§ 25 Abs. 1 Satz 2) in oberirdische Gewässer schadlos eingeleitet werden kann oder das erlaubnisfrei in das Grundwasser eingeleitet wird (§ 46 Abs. 2 WHG), ist von demjenigen, bei dem es anfällt, zu beseitigen. Der kommunalrechtliche Anschluss- und Benutzungszwang bleibt unberührt. (§ 47 Abs. 7 LWG TH)	Nein	Ja

vor, dass einzelne Grundstücke aus der öffentlichen Abwasserbeseitigung ausgenommen werden dürfen, wenn die Übernahme des Abwassers einen unverhältnismäßig hohen Aufwand erfordern würde, insbesondere weil es außerhalb zusammenhängender Siedlungsstrukturen liegt (bspw. § 47 Abs. 5 S. 1 LWG NW). Eine solche Ausnahme ist zumeist an eine wasserbehördliche Anordnung oder Zustimmung gebunden (bspw. § 59 Abs. 2 S. 1 Alt. 2 LWG RP) und wird mitunter von entsprechenden Ausweisungen eines Abwasserbeseitigungskonzeptes abhängig gemacht (bspw. § 79a Abs. 1 Nr. 2 Alt. 2 LWG LSA). Auf der Grundlage dieser Ausnahmemöglichkeiten können Sumpfpflanzendächer unter Umständen auch als eine Technologie zur Abwasserbeseitigung auf ländlichen Grundstücken oder auch Gewerbeflächen in peripheren Lagen in Betracht kommen. Entsprechende Lösungen können im Rahmen der Vorhaben- und Erschließungsplanung mit den zuständigen Behörden abgestimmt bzw. entwickelt werden. Auch insoweit kommt es wesentlich auf eine einvernehmliche, frühzeitige Abstimmung mit der Gemeinde an.

In Anbetracht dieser Entscheidungsspielräume der Gemeinden wird sich die Realisierung eines Sumpfpflanzendaches in der Regel nur dann empfehlen, wenn die Gemeinde dazu ihr Einvernehmen erklärt hat und dem Projekt positiv gegenübersteht. In diesem Fall bieten die Landesgesetze indes überwiegend breite Spielräume auch für eine Behandlung von Regenwasser auf Sumpfpflanzendächern.

Schließlich ist zu erwähnen, dass die Gemeinden auch im Rahmen ihrer Abwasserbeseitigungspflicht dezentrale und innovative Lösungen ermöglichen können, indem sie bspw. die Grundstückseigentümer als „Dritte“ im Sinne des § 56 S. 3 WHG – das heißt wie Beauftragte – in ihre Aufgabenerfüllung einbeziehen.⁷ In diesen Fällen bleibt zwar die Abwasserbeseitigungspflicht bei den Gemeinden, sie kann sich aber mit einzelnen Grundstückseigentümern darauf einigen, dass diese Abwasser im Auftrag der Gemeinde auf einem Sumpfpflanzendach beseitigen. Auf diesem Wege können Sumpfpflanzendächer rechtlich auch dort ermöglicht werden, wo keine Ausnahme von der öffentlichen Abwasserbeseitigung vorgesehen ist wie bspw. in Bayern oder für die Behandlung von

Schmutzwasser auf einem Sumpfpflanzendach der oben genannten Typen 3, 4 und 5.

3. Anforderung an die Errichtung und den Betrieb von Sumpfpflanzendächern

Für ein Sumpfpflanzendach des oben genannten Typs 1, das ausschließlich einfache Gründachfunktionen erfüllen und mithin der Abwasser-Vermeidung dienen soll, gelten keine besonderen wasserrechtlichen Anforderungen (etwaige sicherheitstechnische Erfordernisse z. B. der Statik bleiben hier außer Betracht). Abwasserrechtliche Anforderungen setzen daher erst bei der Ableitung des gegebenenfalls überschüssigen Niederschlagswassers an. Insoweit gelten die üblichen Anforderungen an die Ab- und Zuleitung zum öffentlichen Kanalsystem.

Soll indes auf dem Sumpfpflanzendach Abwasser behandelt werden, so sind die gesetzlichen „Grundsätze der Abwasserbeseitigung“ gem. § 55 Abs. 1, 2 WHG zu beachten, die wie folgt lauten:

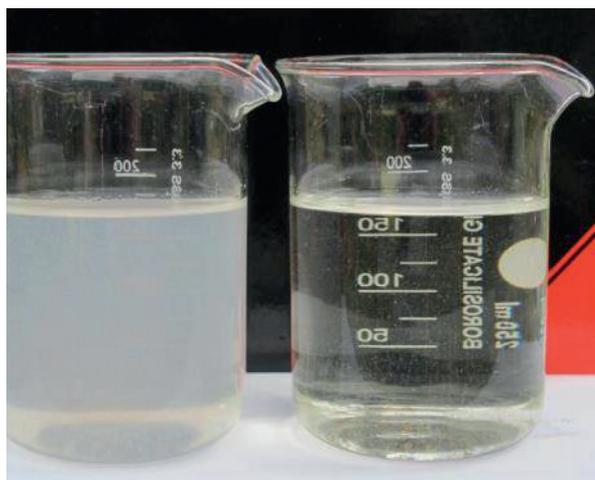
- (1) Abwasser ist so zu beseitigen, dass das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt wird. Dem Wohl der Allgemeinheit kann auch die Beseitigung von häuslichem Abwasser durch dezentrale Anlagen entsprechen.
- (2) Niederschlagswasser soll ortsnah versickert, verrieselt oder direkt oder über eine Kanalisation ohne Vermischung mit Schmutzwasser in ein Gewässer eingeleitet werden, soweit dem weder wasserrechtliche noch sonstige öffentlich-rechtliche Vorschriften noch wasserwirtschaftliche Belange entgegenstehen.

Diese Vorschrift normiert grundlegende Anforderungen sowohl zur Struktur der Abwasserbeseitigung als auch zu ihren Auswirkungen. Das grundlegende Erfordernis der „Gemeinwohlverträglichkeit“ wird vor allem durch die §§ 57-60 WHG untersetzt, die konkretere Anforderungen an die Einleitung und Behandlung von Abwasser formulieren. Schließlich kommen Anforderungen aus dem Immissionsschutzrecht und dem Bau-recht in Betracht.

⁷ Verzichtet wird auf Ausnahmen, die sich auf land- und forstwirtschaftliche Betriebe beziehen.

Strukturelle Vorgaben zur - dezentralen - Abwasserbeseitigung gemäß § 55 WHG

In Bezug auf die Struktur der Abwasserbeseitigung ist wesentlich, dass das Gesetz gemäß Abs. 1 die dezentrale Beseitigung explizit zu den möglichen Formen der geforderten gemeinwohlverträglichen Abwasserbeseitigung rechnet. Speziell für die Beseitigung von Niederschlagswasser wird indes ein Vorrang der ortsnahen Versickerung, Verrieselung oder Ableitung über eine Trennwasserkanalisation normiert. Daraus scheint auf den ersten Blick zu folgen, dass die Behandlung/Verwendung von Niederschlagswasser auf einem Sumpfpflanzendach nur nachrangig in Betracht kommt, sofern insbesondere auch keine Möglichkeit zur Ableitung über eine Trennwasserkanalisation besteht. Das könnte Sumpfpflanzendächern des Typs 2 entgegenstehen. Die „Sollensregelung“ des Abs. 2 impliziert indes ein Ermessen der zuständigen Wasserbehörden, innerhalb dessen auch Gesichtspunkte der Kosten – etwa einer erst noch zu schaffenden Trennwasserkanalisation – zu berücksichtigen sind. Zugunsten einer Sumpfpflanzen-Option muss aber auch die bereits erwähnte tatbestandliche „Nähe“ zu den Beseitigungsformen der Versickerung und Verrieselung berücksichtigt werden, die hier gleichermaßen eine analoge Anwendung nahelegt und jedenfalls dafür spricht, die Sumpfpflanzentechnologie – im Rahmen des Anwendungsermessens – dem



Zu- und Ablauf bei der Grauwasserbehandlung mit Sumpfpflanzen.

Ausnahmebereich zuzuordnen, der durch diese Vorschrift eröffnet ist. Dies gilt zumal, weil der Gesetzgeber neuere Technologien wie Sumpfpflanzendächer nicht vor Augen hatte, als er § 55 Abs. 2 WHG geschaffen hat, sich diese Option aber in die Reihe dezentraler Beseitigungsoptionen nahtlos einfügt.

Wasserrechtliche Anforderungen an die Schadlosigkeit der Abwasserbehandlung

Anforderungen an die Schadlosigkeit der Abwasserbeseitigung ergeben sich zunächst aus § 57 Abs. 1 WHG, und zwar in Bezug auf die Einleitung von gegebenenfalls ablaufendem Abwasser in ein Gewässer. Diese Regelung kommt folglich nur dann zur Anwendung, wenn das Sumpfpflanzendach so konzipiert wird, dass darauf behandeltes Abwasser nicht vollständig verdunstet oder absorbiert, sondern teilweise auch in ein Gewässer abgeleitet werden soll. Das ist in zwei Situationen denkbar. Einerseits können Sumpfpflanzendächer so konzipiert sein, dass das Abwasser durch das geneigte Sumpfpflanzendach rieselt und zumindest ein Teil letztlich vom Dach abfließt und beseitigt werden muss. Andererseits ist zu beachten, dass im Falle starker Regenereignisse die Beseitigung des Überlaufs an den Vorgaben § 57 Abs. 1 WHG zu messen ist.

Rieselt das Abwasser durch das Sumpfpflanzendach und fließt es letztlich teilweise davon ab, muss es beseitigt werden. Sofern dieses Wasser in die Kanalisation eingeleitet wird, sind die Anforderungen an die Indirekteinleitung zu beachten. Wegen der Reinigungsleistung der Sumpfpflanzendächer dürfte das bei häuslichem Grau- und Schwarzwasser kein Problem sein und den Sumpfpflanzendächern der Typen 3 und 4 nicht entgegenstehen.

Einer besonderen Prüfung bedarf es hingegen bei industriellen Abwässern und damit Sumpfpflanzendächern des Typs 5. Das vom Sumpfpflanzendach abfließende Abwasser kann auch dezentral beseitigt werden, beispielsweise durch Versickerung oder ortsnahe Einleitung in ein Gewässer. In diesem Fall verlangt § 57 Abs. 1 Nr. 1 WHG, dass die Menge und Schädlichkeit des Abwassers so gering gehalten wird, wie dies bei Einhaltung der

jeweils in Betracht kommenden Verfahren nach dem Stand der Technik möglich ist. Konkret dürfte bei häuslichem Abwasser für Sumpfpflanzendächer der Typen 3 und 4 regelmäßig der für Kleinkläranlagen einzuhaltende Stand der Reinigungstechnik maßgeblich sein, wie er durch Anhang 1 zur Abwasserverordnung vorgegeben ist. Für die Einleitung von Abwasser aus Sumpfpflanzendächern ist gegebenenfalls nach diesen Maßstäben eine Erlaubnis zu beantragen. Solange es für die Sumpfpflanzentechnologie noch keine Typenzulassungen gibt, kann sie dabei nicht von den Zulassungsfiktionen und -erleichterungen profitieren, die die Bundesländer für Kleinkläranlagen mit bauaufsichtlicher Typenzulassungen erhalten haben (C Abs. 4 Anhang 1 zur AbwV). Sofern das auf dem Dach behandelte Abwasser vollständig verdunstet und absorbiert wird, findet indes keine Einleitung im Sinne des § 57 Abs. 1 WHG statt und die Anforderungen dieser Vorschrift kommen folglich nicht zur Geltung. Unter Umständen muss allerdings damit gerechnet werden, dass bei starken Regenereignissen überschüssiges Niederschlagswasser von der Oberfläche des Sumpfpflanzendaches abfließt und nicht (im Rahmen einer ausreichend dimensionierten „Gesamtlösung“) zwischengespeichert werden kann. In diesem Fall greift ggf. die Pflicht zur Überlassung an die beseitigungspflichtige Gemeinde oder zur Vorhaltung einer eigenen, alternativen Beseitigungsoption entweder durch Versickerung oder getrennte Einleitung in ein Gewässer.

Sumpfpflanzendächer, auf denen Abwasser beseitigt werden soll, sind „Abwasserbeseitigungsanlagen“ im Sinne von § 60 Abs. 1 S. 1 WHG⁸ und haben folglich die in dieser Vorschrift festgelegten Anforderungen einzuhalten. Allerdings normiert die Vorschrift keine spezifischen Anforderungen an die Abwasserbeseitigung durch Pflanzenkonsum und Verdunstung. Insofern folgt aus ihr lediglich

die Pflicht, bei Errichtung und Betrieb die „allgemein anerkannten Regeln der Technik“ zu beachten (§ 60 Abs. 1 S. 2 WHG).

Ein spezifisches abwassertechnisches Regelwerk zur Errichtung und zum Betrieb von Sumpfpflanzendächern, auf das insoweit verwiesen wäre, existiert gegenwärtig noch nicht. Es bleibt daher bei allgemeinen Anforderungen zum Beispiel an die Dichtheit der Anlagen oder die Absicherung in Bezug auf alle vorhersehbaren Betriebszustände.

Bauordnungsrecht

Schließlich können sich Anforderungen aus den Landesbauordnungen ergeben, die zum Teil ihrerseits Anforderungen an Abwasseranlagen enthalten. In den Bauordnungen wird mitunter vorgeschrieben, dass Abwasseranlagen so beschaffen sein müssen, dass die Abwasserbeseitigung dauernd und einwandfrei gesichert ist.⁹ Dazu wird die Betriebssicherheit der eingesetzten Abwasseranlagen gefordert,¹⁰ was zum Beispiel im Saarland als „dicht, sicher und leicht erreichbar“ konkretisiert wird.¹¹ Ferner wird gefordert, dass Abwasseranlagen so beschaffen und angeordnet werden sollen, dass keine Gefahren oder unzumutbaren Belästigungen entstehen. Als mögliche Belästigungen sind insbesondere auch Gerüche und Geräusche erfasst.¹² Mit Blick auf mögliche Geruchsmissionen ist die jeweils geltende Fassung der „Geruchsmissionsrichtlinie“ (GIRL) heranzuziehen, die die Länder regelmäßig im Erlasswege ihrer Genehmigungs- und Aufsichtspraxis zugrunde legen.

Die Vorschriften der Landesbauordnungen legen einen besonderen Fokus auf Anlagen zur dezentralen Beseitigung von Schmutzwasser. Dabei werden unterschiedliche Arten von Abwasseranlagen in den Blick genommen. Teilweise erfassen die Rege-

⁸ GANSKE 2016, in: Landmann/Rohmer/Beckmann/Bartsch, UmwR, § 60 WHG Rn. 10 m.w.N; Breuer, 2017, Öffentliches und privates Wasserrecht, S. Rn. 528; Schulz, 2017, in: Giesberts/Reinhardt, BeckOK UmwR, § 60 WHG Rn. 61.

⁹ Art. 41 Abs. 1 BO BY; § 39 Abs. 1 BO He; § 41 Abs. 2 BO Nds

¹⁰ § 33 Abs. 2 S. 1 BO BW; § 39 Abs. 1 BO He; § 41 Abs. 3 BO RP; § 42 Abs. 1 BO SL; § 43 Abs. 3 BO SN

¹¹ § 42 Abs. 1 BO SL

¹² § 33 Abs. 2 S. 2 BO BW; § 39 Abs. 1 BO He; § 41 Abs. 3 BO RP; § 42 Abs. 1 BO SL; § 43 Abs. 3 BO SN

¹³ Art. 41 BO BY, § 44 Abs. 2 BO Bln; § 44 BO Bbg; § 44 S. 1 - 5 BO Brem

lungen nur Kleinkläranlagen,¹³ überwiegend aber Kleinkläranlagen und Gruben.¹⁴ An Sumpfpflanzendächer wurde bei diesen Regelungen sicherlich nicht gedacht. Soweit unter Umständen eine entsprechende Anwendung in Betracht kommt, ergeben sich daraus aber keine wesentlichen Hindernisse für die Sumpfpflanzentechnologie.

Unabhängig davon können die Baubehörden Einzelanordnungen zur Beseitigung und Aufbewahrung von Abwasser treffen, wenn sie sich auf Sonderbauten beziehen und zum Schutz vor Gefahren für Gesundheit, Leben und natürlichen Lebensgrundlagen erforderlich sind (bspw. § 61 BO RP¹⁵, § 59 Abs. 1 BO SN).

4. Förderung von Sumpfpflanzendächern durch Bebauungsplanung, städtebaulichen Vertrag und Eingriffsregelung

Vor allem auch deshalb, weil rechtlich Vieles von Entscheidungen, Planungen und Auslegungen der zuständigen Behörden und Kommunen abhängt, dürfte eine einvernehmliche, abgestimmte Planung für die rechtssichere Verwirklichung von Sumpfpflanzendach-Projekten entscheidend sein. Die beste Möglichkeit dazu bietet zweifellos das Städtebaurecht durch die Instrumente der (vorhabenbezogenen) Bebauungsplanung und städtebaulichen Verträge. Im Rahmen des städtebaulichen Vertrags und der Bebauungsplanung können Investor, Wasserbehörde und Gemeinde eine kohärente Konzeption zur dezentralen Abwasserbewirtschaftung mit (unter anderem) Sumpfpflanzentechnologien entwickeln, beschließen und umsetzen. Die Abstimmung der städtebaulichen mit den abwasserwirtschaftlichen Entwicklungen erfolgt dabei sinnvollerweise mithilfe eines kommunalen Abwasserbeseitigungskonzepts.



Sumpfpflanzendächer bieten einer Vielzahl von Tieren und Pflanzen Lebensraum und können so die Biodiversität in Städten erhöhen.

In der städtebaulichen Planung können Sumpfpflanzendächer insbesondere dadurch gefördert werden, dass sie als obligatorische Ausgleichsmaßnahmen für die mit den Bauvorhaben einhergehenden Eingriffe in Natur und Landschaft gemäß § 1a Abs. 4 BauGB¹⁶ anerkannt und festgesetzt werden. Insoweit kann dieser naturbasierten Technologie ihre besondere Synergie aus wasserwirtschaftlichen und ökologischen Systemdienstleistungen wesentlich zugutekommen.

Zentral für die Förderung von Sumpfpflanzendächern sind zudem Anreize durch das Finanzierungssystem für bestehende Abwasseranlagen. Dafür sollten Gemeinden zum einen ermäßigte Gebühren für Grundstücke vorsehen, die Abwasser mit Hilfe dezentraler Möglichkeiten wie Sumpfpflanzendächern beseitigen. Dieses Abwasser erfassen die bestehenden Entgeltmaßstäbe regelmäßig nicht. Zum anderen eröffnen die Kommunalabgabengesetze einiger Bundesländer Möglichkeiten, die Errichtung von dezentralen Anlagen zur Niederschlagswasserbeseitigung auf dem Grundstück aus dem Gebührenaufkommen zu fördern. So ist in Baden-Württemberg vorgesehen, dass Investitionszuschüsse an Dritte für Maßnahmen der Regenwasserbewirtschaftung aus dem Gebührenaufkommen bestritten werden dürfen, wenn dadurch Investitionskosten für die öffentliche Abwasserbeseitigung gemindert werden (§ 17 Abs. 2 S. 1 KAG BW¹⁷).

¹⁴ § 42 Abs. 1 BO Ham; § 40 Abs. 3 BO He; § 44 BO MV; § 42 Abs. 2 BO RP; § 42 Abs. 1 BO RP; § § 42 Abs. 3 BO SL; § 44 BO SN; § 43 BO LSA; § 45 Abs. 1 BO SH; § 44 BO TH

¹⁵ BO wird als Abkürzung für die Bauordnungen der Länder verwendet. Im Anschluss folgt eine eindeutige Kennzeichnung des jeweiligen Bundeslandes.

¹⁶ Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 3. November 2017 (BGBl. I S. 3634)

¹⁷ KAG wird als Abkürzung für die Kommunalabgabengesetze der Länder verwendet. Im Anschluss folgt eine eindeutige Kennzeichnung des jeweiligen Bundeslandes.

5. Fazit und Ausblick

Der kurze Überblick über die rechtlichen Rahmenbedingungen lässt bereits erkennen, dass die Sumpfpflanzendachtechnologie in den maßgeblichen Regelwerken noch keine konstruktive Berücksichtigung findet, und dies gilt auch für sonstige Gründach-Technologien. Hinsichtlich der dezentralen Bewältigung von Niederschlagswasser bezieht sich das Abwasserrecht von Bund und Ländern noch weitgehend nur auf die hergebrachten Maßnahmen der Versickerung und Verrieselung, und nur ganz vereinzelt finden die Optionen der Vermeidung und Verwendung von Abwasser Erwähnung. Zwar eröffnen das WHG und das Landesrecht auch Ausnahme- und Auslegungsspielräume, die von bereitwilligen Akteuren genutzt werden können, um Sumpfpflanzendächer zu realisieren. Dies setzt allerdings voraus, dass Wasserbehörden, Baubehörden und Gemeinden unterstützend mitwirken und proaktiv eingebunden werden. Chancen dazu bieten sich vornehmlich im Rahmen einer vorhabenbezogenen Bebauungsplanung und den zugehörigen städtebaulichen Verträgen, und zwar vor allem dann, wenn diese im Zusammenhang mit einem entspre-

chenden Abwasserbeseitigungs- sowie Eingriffsausgleichskonzept entwickelt werden. Für die Zukunft ist ungeachtet dessen zu wünschen, dass die Gesetzgeber der Bundes- und Landesebene alsbald spezifische, fördernde Rechtsgrundlagen zur Gründach- und Sumpfpflanzentechnologie schaffen. Zu einer grünen und „grün-blauen“ Stadtentwicklung, wie sie politisch allenthalben proklamiert wird, wäre dies jedenfalls ein wichtiger rechtlicher Schritt. Auf fachlicher Ebene ist daneben bedeutend, dass dazu ein technisches Regelwerk entwickelt wird und Typenzulassungen durchgeführt werden, um eine effiziente und rechtssichere Umsetzung zu fördern.



KONTAKT

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
- UFZ
Department Umwelt- und Planungsrecht
Dr. Moritz Reese
Telefon: +49 (0) 341 235 1987
E-Mail: moritz.reese@ufz.de



LITERATUR

- Breuer, R. (2017): Öffentliches und privates Wasserrecht, 4. Auflage, München, C.H. Beck.
 Giesberts, L.; Reinhardt, M. (2017): Beck'scher Online-Kommentar Umweltrecht, 44. Auflage, München, C.H. Beck.
 König, K. (2016): Regenwassermanagement, in: *Transforming Cities*, S. 45 - 49 (zit.: König, Klaus, in: *Transforming Cities* 2016, 45)
 König, K. (2017): Starkregen in Deutschland, in: *Transforming Cities*, S. 52 - 57 (zit.: König, Klaus, in: *Transforming Cities* 2017, 52)
 Landmann, R. v.; Rohmer, G.; Beckmann, M.; Bartsch, T. (2016): Umweltrecht, 81. Lieferung, München, C.H. Beck, Online-Kommentar.
 Leutner, M. (2016): Das Recht der Abwasserbeseitigung und die nachhaltige und an den Klimawandel angepasste Entsorgung von häuslichem Abwasser, Baden-Baden, Nomos.

Impressum

Diese Publikation entstand im Rahmen des Projektes „Forschungsgründach“. Die Baumaßnahme Forschungsgründach wurde gefördert durch



Europäische Union

Europa fördert Sachsen.



Diese Baumaßnahme wird mitfinanziert durch Steuermittel auf Grundlage des von den Abgeordneten des Sächsischen Landtags beschlossenen Haushalts.

Herausgeber:

Andreas Zehnsdorf, Ralf Trabitzsch

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ
Permoserstraße 15
04318 Leipzig
www.ufz.de

Redaktion: Andreas Zehnsdorf, Ralf Trabitzsch, Lucie Moeller,
Katy Bernhard, Virginia Schönberg

Bilder: Urheberrechtsnachweis am Bild verzeichnet
Das UFZ ist nicht verantwortlich für den Inhalt der eingereichten
Beiträge. Die Verantwortung für die Texte sowie der Bilder/
Grafiken liegt bei den Autoren.

Layout/Satz: Angela Gröber

Druck: Druckerei Billig OHG, Mittweida

ISBN: 978-3-944280-07-3

© 2019

Copyright: Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Broschüre darf ohne die schriftliche Genehmigung des Herausgebers vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fällt auch die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf weitere Datenträger.

