



Karlovy VARY°



SAMMELBAND DER VORTRÄGE

27. Internationale Konferenz

Stadttechnik ČKAIT Karlsbader Region 2023

STADT UND WASSER

27. INTERNATIONALE KONFERENZ STADTTECHNIK ČKAIT KARLSBADER REGION 2023

Thema: „Stadt und Wasser“

13. Oktober 2023 um 9.00 Uhr im Kongressaal des Hotels THERMAL, Karlsbad



Karlovy VARY°



MINISTERSTVO
PRO MÍSTNÍ
ROZVOJ ČR



Ministerstvo dopravy



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU

Veranstalter

Tschechische Kammer autorisierter Bauingenieure
und Techniker (ČKAIT)

Tschechischer Verband der Bauingenieure (ČSSI)

unter Mitwirkung folgender Organisationen:

BAYERISCHE INGENIEUREKAMMER – BAU

Ingenieurkammer THÜRINGEN

INGENIEURKAMMER SACHSEN

VERBAND BERATENDER INGENIEURE (VBI)

Slowakische Bauingenieurkammer

Tschechische Gesellschaft für Stadttechnik bei ČSSI

Baufakultät an der TU Ostrava

Baufakultät an der TU Brunn

Schirmherren der Konferenz

Stellvertretender Ministerpräsident der Tschechischen Republik

für Digitalisierung Tschechischer Minister für die regionale Entwicklung

Tschechischer Kulturminister

Tschechischer Verkehrsminister

Tschechischer Minister für Industrie und Handel

Präsident der Region Karlsbad

Oberbürgermeisterin der Stadt Karlsbad

Konferenzband mit den Vorträgen der 27. internationalen Konferenz
„Stadttechnik ČKAIT Karlsbader Region 2023“

Thema:

„STADT UND WASSER“

13. Oktober 2023, Kongresssaal des Hotels THERMAL in Karlsbad

Die Herausgabe des Sammelbandes wurde
unterstützt von dem Ministerium für Industrie und Handel der Tschechischen Republik.

Die internationale Konferenz „Stadttechnik ČKAIT Karlsbader Region 2023“
Thema: „Stadt und Wasser“

Die Unterlagen wurden keiner Sprachkorrektur unterzogen und werden in der Originalfassung nachgedruckt.

Die Referate wurden von
doc. Ing. František Kuda, CSc., und doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D., rezensiert.

ISBN 978-80-88265-42-9

Informační centrum ČKAIT, s. r. o.

Sokolská 15, Praha 2

www.ic-ckait.cz





ZÁŠTITA

místopředsedy vlády ČR pro digitalizaci
a ministra pro místní rozvoj
nad akcí

**Městské inženýrství
ČKAIT Karlovarsko 2023**

konané

13. října 2023

Ivan Bartoš



MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU

Ing. Jozef Síkela
ministr

uděluje

ZÁŠTITU

MINISTERSTVA PRŮMYSLU A OBCHODU

27. ročníku Mezinárodní konference Městské inženýrství ČKAIT Karlovarsko 2023,
na téma „Město a voda“,
která se uskuteční 13. října 2023 v Karlových Varech

V Praze dne 19. dubna 2023



MINISTERSTVO
PRŮMYSLU A OBCHODU



Ministr kultury
Mgr. Martin Baxa

přebírá

ZÁŠTITU

nad 27. ročníkem mezinárodní konference
Městské inženýrství Karlovarsko 2023,

který se bude konat dne 13. října 2023
v Karlových Varech.

Martin Baxa

V Praze dne 4. dubna 2023



MINISTERSTVO
KULTURY



MINISTR DOPRAVY

Martin Kupka
přebírá

ZÁŠTITU

nad 27. ročníkem mezinárodní konference Městské inženýrství Karlovarsko
na téma Město a voda

V Praze dne 7. června 2023

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Martin Kupka".



KARLOVARSKÝ KRAJ

Ing. PETR KULHÁNEK
HEJTMAN

Čj.: KK/77/SH/23

uděluje

ZÁŠTITU

Oblastní kanceláři ČKAIT Karlovy Vary

nad 27. ročníkem akce

**„MEZINÁRODNÍ KONFERENCE
ČKAIT KARLOVARSKO 2023
TÉMA „MĚSTO A VODA““**

Karlovy Vary 24. března 2023



Primátorka města Karlovy Vary
Ing. Andrea Pfeffer Ferklová, MBA

Vážený pan
Ing. Pavel Pospíšil
Oblastní kancelář ČKAIT Karlovy Vary
Stará Kysibelská 602/45
360 09 Karlovy Vary

V Karlových Varech dne 05.05.2023
Č.j.: 139/SEKR1/23

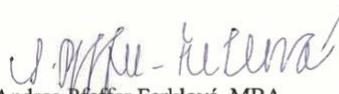
Vážený pane inženýre,

dle obecně závazné vyhlášky Statutárního města Karlovy Vary č. 9/2015 o čestném občanství, o čestných poctách města, primátora a náměstků primátora a o Ceně města Karlovy Vary tímto přebírám záštitu nad 27. ročníkem Mezinárodní konference

„Městské inženýrství ČKAIT Karlovarsko 2023“

která se bude konat 12. října 2023 v Karlových Varech.

S pozdravem


Ing. Andrea Pfeffer Ferklová, MBA
primátorka města Karlovy Vary

**GREAT
SPA TOWNS
of Europe**

Die internationale Konferenz
"Stadttechnik ČKAIT Karlsbader Region 2023"
Thema: "Stadt und Wasser"
wird in Zusammenarbeit
mit der Statutarstadt Karlsbad organisiert

Karlovy VARY°

Die internationale Konferenz
"Stadttechnik ČKAIT Karlsbader Region 2023"

Thema: "Stadt und Wasser"

wird in Zusammenarbeit
mit der Karlsbader Region organisiert





Živý kraj

Destinační agentura pro Karlovarský kraj

Destinační agentura zajišťuje marketing pro Karlovarský kraj ve všech segmentech cestovního ruchu. Svou činností zvyšuje zájem klientů o turistické produkty, prezentuje rozmanitou nabídku atraktivit regionu a v oblasti lázeňství posiluje pozici Karlovarského kraje jako světově proslulé destinace s nabídkou špičkové péče založené na unikátních přírodních léčivých zdrojích.

Živý kraj – Destinační agentura pro Karlovarský kraj, z.s.
Závodní 379/84a, 360 06 Karlovy Vary
+420 354 222 243, info@zivykraj.cz

www.zivykraj.cz



Karlovarský kraj
Žijeme regionem

GREAT
SPAS of Europe

TAGESORDNUNG DER KONFERENZ STADTTECHNIK ČKAIT „STADT UND WASSER“

- 8.30 – 9.00 Präsenzaufnahme**
- 9.00 – 9.10 Begrüßung und Vorstellung der Ehrengäste der Konferenz
Ing. Adam Vokurka, Ph.D., Präsident von ČSSI
- 9.10 – 9.30 Auftritt von Vertretern der tschechischen Ministerien sowie der Region und der Stadt Karlsbad
- 9.30 – 9.40 Präsentation des Buchs „Stadttechnik nicht nur für Stadttechniker“
doc. Ing. František Kuda, CSc., für das Autorenkollektiv
- 9.40 – 10.00 Einführung in die Problematik der Konferenz Stadt und Wasser – Wasser als benötigtes, nützliches, aber auch unerwünschtes Element
Ing. Marek Teichmann, Ph.D., Garant: Bau fakultät an der TU Ostrava
- 10.00 – 10.20 Sinkende Grundwasserstände und extreme Regenereignisse – geotechnische Einfl ussparameter auf Bestand und Planung
Dr.-Ing. Peter Hinz, Garant: IK Sachsen
- 10.20 – 10.40 Umbau der Gemeinde Kürnach zum Schwammdorf
Dipl.-Ing. Heinz Joachim Rehbein. Garant: Bayerische Ingenieurekammer-Bau
- 10.40 – 11.00 Auswirkungen des Baus der geplanten unterirdischen TEN-T-Eisenbahn in Bratislava auf die Grundwasserströmung
prof. Ing. Andrej Šoltész, Ph.D., Garant: Slowakische Ingenieurkammer
- 11.00 – 11.20 Innerstädtische Klimainseln als zentrales Element einer nachhaltigen Klimawandelanpassung
Dr.-Ing. Michael Probst, Björn sen Beratende Ingenieure, Garant: VBI
- 11.20 – 11.30 Präsentation der Poster zum Thema Stadt und Wasser von Studierenden der Fachrichtung Stadttechnik
Ing. arch. Tomáš Pavlovský, Ph.D., Garant: Bau fakultät an der TU Brunn
- 11.30 – 12.00 Kaffeepause**
- 12.00 – 12.20 Hydrologie und deren Anwendung nicht nur in urbanisierten Gebieten
Mgr. Ivana Černá, Tschechisches hydrometeorologisches Institut, Brunn
- 12.20 – 12.40 Lichoceves – eine Siedlung im Garten
Ing. Jitka Thomasová, Garant ČKAIT
- 12.40 – 13.00 Wasser, Wasserläufe und -elemente als Erscheinungsbild der Stadt
Ing. arch. Tomáš Pavlovský, Ph.D., Garant Bau fakultät an der TU Brunn
- 13.00 – 13.30 Podiumsdiskussion zu den vorgetragenen Referaten
Moderator: Ing. Adam Vokurka, Ph.D.
- 13.30 – 14.00 Beurteilung und Abschluss der Konferenz
doc. Ing. František Kuda, CSc.
- 14.00 – 15.00 Mittagessen**

INHALT

KUDA František

Geschichte von 27 Jahren der internationalen Konferenz "Stadttechnik ČKAIT Karlsbader Region" 15

Bildergalerie von der 26. Konferenz Stadttechnik 2022 Stadt und Industrie" 18

Fachbuch "Stadttechnik nicht nur für Stadtplaner" 19

TEICHMANN Marek

Stadt und Wasser – Wasser als benötigtes, Nützliches, aber auch unerwünschtes Element 20

HINZ Peter, NEUMANN Bodo

Sinkende Grundwasserstände und extreme Regenereignisse – geotechnische Einflussparameter
auf Bestand und Planung 27

REHBEIN Heinz Joachim

Umbau der Gemeinde Kürnach zum Schwammdorf 38

ŠOLTÉŽS Andrej, BAROKOVÁ Dana

Auswirkungen des Baus der geplanten unterirdischen TEN-T-Eisenbahn in Bratislava
auf die Grundwasserströmung 44

PROBST Michael

Innerstädtische Klimainseln als zentrales Element einer nachhaltigen Klimawandelanpassung 51

ČERNÁ Ivana, HORNOVÁ Hana

Hydrologie und deren Anwendung nicht nur in urbanisierten Gebieten 59

THOMASOVÁ Jitka, STEINER Aleš

Lichoceves – eine Siedlung im Garten 65

PAVLOVSKÝ Tomáš

Wasser, Wasserläufe und -elemente als Erscheinungsbild der Stadt 73

GESCHICHTE VON 27 JAHREN DER INTERNATIONALEN KONFERENZ “STADTTECHNIK ČKAIT KARLSBADER REGION“

Nachdem die Tschechische Ingenieurkammer und der Tschechische Verband der Bauingenieure 1994 in Karlsbad einen Kooperationsvertrag mit der Bayerischen Ingenieurekammer-Bau, und 1995 einen ähnlichen mit der Ingenieurkammer Sachsen abgeschlossen hatten, wurde den deutschen Kollegen und diesen von der Slowakischen Ingenieurkammer (ein Vertrag mit der Slowakischen Ingenieurkammer wurde 1995 in Bratislava abgeschlossen) angeboten, in Karlsbad periodisch internationale Konferenzen zu veranstalten, die sich mit einem damals neuen technischen Fachbereich – nämlich der Stadttechnik – befassen würden. 1996 fand die erste Konferenz unter dem Thema Stadttechnik – einer der zulassungspflichtigen Fachbereiche der Tschechischen Ingenieurkammer statt. Die Konferenz wurde in die Tagesordnung der Baumesse FOR ARCH Karlovy Vary aufgenommen und wurde von diesem Jahr an zu einem regelmäßigen Bestandteil der Baumesse. 2010 sah man sich gezwungen, auf die Veranstaltung der Baumesse aus wirtschaftlichen Gründen zu verzichten, und aufgrund dessen musste dieses Schema aufgegeben werden. Seit 2010 veranstaltete die Tschechische Ingenieurkammer in Kooperation mit der Regionalen Bauvereinigung und dem Tschechischen Verband der Bauingenieure Tage der Region Karlsbad für Baukunst und Architektur, und unsere internationale Konferenz stellte seit 2011 einen integralen Bestandteil der genannten Veranstaltung dar. Aufgrund von außerordentlichen, mit der Covid-19-Pandemie verbundenen Maßnahmen mussten die "Tage der Region" 2020 abgesagt werden, und die Konferenz findet seitdem als eine eigenständige Veranstaltung statt. Die ersten 22 Konferenzen Stadttechnik wurden in Karlsbad veranstaltet, seit 2018 fand die Konferenz in Cheb statt. 2022 kehrte sie wieder nach Karlsbad zurück.

Übersicht der Tagungsthemen der Konferenzen:

- 1996 Stadttechnik – eines der Gebiete der ČKAIT-Autorisation
- 1997 Wohnbereiche und Stadt
- 1998 Kaufzentren – ein neues Phänomen im Leben der Städte
- 1999 Baum und Stadt
- 2000 Öffentliche Stadtflächen – Wasser, Grünanlagen und Einrichtungsgegenstände
- 2001 Stadt – ein Standort für die Zusammenarbeit von Architekten und Stadttechnikern
- 2002 Neue im Bereich Stadttechnik verwendeten Werkstoffe und Technologien
- 2003 Umbau von historischen Stadtzentren aus der Sicht von Stadttechnikern
- 2004 Problematik von Neubauten in historischen Stadtzentren
- 2005 Revitalisierung von Siedlungen – ein Bestandteil von Revitalisierung eines städtischen Ballungsgebiets
- 2006 Eisenbahn und Stadt
- 2007 Gesunde Städte aus der Sicht von Stadttechnikern
- 2008 Flughafen und Stadt
- 2009 Sportbauten und Stadt
- 2010 Es war hier eine Stadt, eine Landschaft...
- 2011 Vom militärischen zum Zivilen
- 2012 Kurbäder und Städte
- 2013 Hochwasser und Stadt
- 2014 Schulwesen und Stadt
- 2015 Kirchenbauten und Stadt
- 2016 Stadt und Umnutzung von Industrieflächen
- 2017 Stadtarchitekt - Stadttechniker
- 2018 Verkehr in Städten
- 2019 Städtebau im öffentlichen Untergrundbereich
- 2020 Stadt und Licht (die Konferenz fand an einem Ersatztermin im Jahr 2021 statt)
- 2022 Stadt und Industrie
- 2023 Stadt und Wasser

Das Thema der diesjährigen Konferenz umfasst die Frage eines integrativen Ansatzes zur nachhaltigen Entwicklung von Städten und Dörfern und steht im Zusammenhang mit der nachhaltigen Entwicklung in europäischen Ländern. Jede Stadt ist in vielerlei Hinsicht spezifisch – kulturell, baulich, im Hinblick auf die Zusammensetzung ihrer Bevölkerung, im Hinblick auf funktionale Ausstattung usw. Einer der wichtigen Aspekte ist auch Wasser.

Auch durch Wasser als wichtiges städtebauliches Element erhält die Stadt ihr Image, ihr Erscheinungsbild. Dieses stadtbildende Element entwickelt und verändert sich ständig – im Laufe des Tages, der Jahreszeiten und natürlich im Laufe der Zeit. Diese Atmosphäre spiegelt sich insbesondere in Gebäuden und öffentlichen Räumen, die durch ihr Alter Vitalität bewährt und die Zeit überdauert haben. Wasser ist ein wichtiger Bestandteil des menschlichen Lebens, sowohl aus gesundheitlicher als auch aus emotionaler Sicht. Die städtische Umgebung und Lebensweise wirken sich auf die Lebensqualität der Bewohner erheblich aus. Die Gestaltung des öffentlichen Raums unter dem Gesichtspunkt Wassermanagement hat einen wesentlichen Einfluss auf die Nutzbarkeit des Wassers. Dabei spielen mikroklimatische Bedingungen eine vergleichbar wichtige Rolle wie der emotionale Charakter. Der Nutzungsgrad eines bestimmten öffentlichen Raums ist ein guter Maßstab für dessen Qualität. Beispiele für gute und schlechte Umsetzungen können eine anregende Inspiration für die Gestaltung neuer und Veränderung bestehender Standorte sein.

Ziel der diesjährigen Konferenz ist es, den Blick auf das vielfältige, vernetzte Spektrum von Ingenieur-tätigkeiten beim Umgang mit Wasser und beim Wassermanagement zu lenken, aktuelle Trends und Vorteile wasserwirtschaftlicher Maßnahmen in einer urbanisierten Landschaft einschließlich Umsetzung großer Wasserbauwerke darzustellen. Die Themen sind vor allem Wassermanagement in der Landschaft und Trinkwassermanagement, Wassermanagement in Siedlungen, Regenwasser, Stadtplanung, Architektur und Wasser, blau-grüne Infrastrukturen, Wasser als städtebauliches Element und Wasser als Energiequelle, Hochwasserschutz von Städten, Auswirkungen von Wasser und Feuchtigkeit auf Gebäude und geotechnische Maßnahmen usw.

Das Ziel der diesjährigen Konferenz ist es nicht, Fragen zur zukünftigen Entwicklung von Wasser in Städten zu beantworten. Vielmehr wird versucht, den aktuellen Stand dieses Themas, die aktuellen Trends auf nationaler und lokaler Ebene abzubilden und anhand von Beispielen deren Funktionsweise im Kontext der Siedlungsinfrastruktur darzustellen, eventuell Möglichkeiten aufzuzeigen, wie man mit den Folgen einiger menschlicher Aktivitäten in Städten zurechtkommen kann.

Hauptorganisatoren der Konferenz:

- Tschechische Kammer autorisierter Bauingenieure und -Techniker (ČKAIT)
- Tschechischer Verband der Bauingenieure (ČSSI), regionale Geschäftsstelle Karlsbad

Derzeitige Partner der Hauptorganisatoren:

- Bayerische Ingenieurekammer Bau
- Ingenieurkammer Thüringen
- Verband Beratender Ingenieure (VBI)
- Slowakische Bauingenieurkammer (SKSI)
- Tschechische Gesellschaft für Stadttechnik von ČSSI
- Baufakultät an der TU Ostrava
- Baufakultät an der TU Brno

Derzeitige Mitglieder des Wissenschaftlichen Rats der Konferenz:

- Doc. Ing. et Ing. František Kuda, CSc., (ČSSI, ČKAIT, TU Ostrava) –Vorsitzender
- Dipl.-Ing. Pavel Budka, (Bayerische Ingenieurekammer-Bau)
- Dipl.-Ing. Rainer Haßmann, (VBI)
- Dr. Ing. Gundela Metz wurde per 1. 7. 2023 durch Prof. Dr. Dirk Hinkel abgelöst (Ingenieurkammer Sachsen)
- Dipl.-Ing. Karl Heinz Bartl, (Ingenieurkammer Thüringen)
- Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Heinz Joachim Rehbein (Bayerische Ingenieurekammer-Bau)
- Dipl.-Ing. Ján Tomko, (SKSI)
- Dipl.-Ing. Adam Vokurka, PhD. (ČKAIT, ČSSI)
- Dipl.-Ing. Jitka Thomasová, (ČSSI)
- Dipl.-Ing. Renata Zdařilová, Ph.D. (Baufakultät an der TU Ostrava)
- Doc. Ing. Tomáš Vymazal, Ph.D. (Baufakultät an der TU Brno)
- Dipl.-Ing. Svatopluk Zidek, (regionale Geschäftsstelle von ČKAIT in Karlsbad) als Ehrenmitglied

Zu den Attributen der Konferenz gehört der Tagungsband mit den auf der Konferenz präsentierten Vorträgen. Ursprünglich wurde eine tschechische und eine deutsche Version der Konferenzschrift in Papierform herausgegeben, wobei in der tschechischen Konferenzschrift auch slowakische Referate im Original erschienen. 2017, 2018 und 2019 wurden elektronische Konferenzschriften auf USB-Sticks hergestellt. 2021 konnte man aufgrund der Covid-19-Pandemie die in China produzierten USB-Sticks nicht erhalten, sodass man auf die Papierform zurückgekommen ist. In diesem Jahr liegt uns wieder ein elektronischer Tagungsband vor. Die Konferenz wird mit einer für Ehrengäste und Referenten organisierten Fachexkursion ergänzt. Als ein inoffizieller Bestandteil der Konferenz findet regelmäßig eine Zusammenkunft von Ehrengästen und Referenten mit Repräsentanten der Gastgeberstadt und der Karlsbader Region am Vorabend der Konferenz statt.

*doc. Dipl.-Ing. František Kuda, CSc.
Vorsitzender des wissenschaftlichen Rats der Konferenz*

Bildergalerie von der 26. Konferenz Stadttechnik 2022 "STADT UND INDUSTRIE"



Der ČKAIT-Vorsitzende Robert Špalek am Mikrophon



Stellvertretender Minister für MPO Ing. Eduard Muřický am mikrophon



Blick in den Konferenzsaal



Konferenzteilnehmer



doc. Ing. František Kuda, CSc., erhält anlässlich des 30-jährigen Jubiläums des ČKAIT eine Gedenkmedaille



Blick in den Konferenzsaal

Fachbuch "Stadttechnik nicht nur für Stadtplaner"

In diesem Jahr veröffentlichte das ČKAIT-Informationszentrum eine interessante Publikation mit dem Titel "Stadttechnik nicht nur für Stadtplaner", die einen umfassenden Überblick über die Funktionsweise einer Stadt aus technischer Sicht bietet. Sie stellt Themen rund um die Entwicklungsplanung und den späteren Betrieb von Städten und Dörfern vor. Es wird dort der Tätigkeitsbereich eines Stadtplaners festgelegt, der qualitätsgerechte technische Funktionen des ihm anvertrauten Gebiets gewährleistet und über wirtschaftliche und Umweltfragen im Zusammenhang mit der Sicherstellung des Betriebs des Gebiets mitentscheidet.

Das Buch deckt alle wichtigen Bereiche der Stadtentwicklung ab – Raumplanung und zugehörige Dokumentation, Entwerfen der technischen und Verkehrsinfrastruktur sowie anderer Bestandteile öffentlicher Räume, städtische Baustellen, Steuerung spezifischer Stadtssysteme usw.

Es ist ein zeitloser Leitfaden zur Stadttechnik und richtet sich sowohl an Ingenieure und Techniker als auch an andere Mitglieder der Öffentlichkeit aus Kommunen, Bauämtern u. ä.



STADT UND WASSER – WASSER ALS BENÖTIGTES, NÜTZLICHES, ABER AUCH UNERWÜNSCHTES ELEMENT

Marek Teichmann¹

D

Wasser ist ein wesentlicher Bestandteil des menschlichen Lebens und es wird in einer Vielzahl von Sektoren verwendet. Wasser übt einen großen Einfluss im Bereich Städtebau und Architektur menschlicher Siedlungen aus und stellt deren integralen Bestandteil dar. Man muss sich jedoch auch mit dessen zerstörerischen oder schädlichen Auswirkungen auseinandersetzen, die häufig mit den weltweiten, extremen meteorologischen Ereignissen verursachenden Klimawandel im Zusammenhang stehen. Somit haben sowohl die urbanisierten Gebiete als auch die offene Landschaft gegen Dürre einerseits und gegen enorme Mengen an Starkregenwasser andererseits zu kämpfen. Das Ziel des vorliegenden Referats ist es, die erhebliche Bedeutung von Wasser für die Gesellschaft und die Umwelt sowie Bedeutung des Wasserhaushalts darzustellen, und eine breite Palette von Aktivitäten der Bauingenieure bei der Wasserbehandlung und beim Wasserhaushalt zu präsentieren.

Einführung

Ein urbanisiertes Gebiet ohne Wasser in irgendeiner Form ist kaum vorstellbar. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass Wasser selbst ein unverzichtbarer Bestandteil des Lebens von Menschen, Tieren und Pflanzen auf dem Planeten Erde ist. Wasser ist somit historisch ein Teil der Menschheit geworden, Menschen suchten und nutzten es seit der Antike. Aufgrund dessen wurden historisch gesehen die ersten Siedlungen und Städte in der Nähe von Wasserquellen errichtet. Im Laufe der Zeit und der Entwicklung der Städte und Siedlungen sowie der evolutiven und technologischen Entwicklung hat Wasser neben seiner Hauptbedeutung als Grundbestandteil des Lebens immer mehr Bedeutung für Verwendungszwecke in Industrie, Landwirtschaft und Verkehr gewonnen. Dieser allmähliche Prozess hat sich nicht nur auf die Entwicklung wasserwirtschaftlichen Infrastrukturen ausgewirkt, sondern auch auf die Entwicklung menschlicher Siedlungen zu der Form, wie sie heute bekannt sind.

Wasser ist ein integraler Bestandteil jedes städtischen Raums, in dem es nicht nur viele Formen annimmt, sondern auch viele Funktionen hat. Ohne Wasser wären Dörfer und Städte völlig unbewohnbar. Dies ist bereits aus der Geschichte bekannt, die bis in die Zeit vor Christus zurückreicht. Die damaligen Städte verfügten schon über eine ausgebaute Wasserinfrastruktur, die nicht nur Wasserversorgungssysteme wie Aquädukte, sondern auch Systeme zur Ableitung von Abwasser außerhalb der Stadt umfasste. Wasser wurde auch für andere Zwecke wie z. B. Heilbäder genutzt. Heutzutage stößt die Menschheit häufig auf Probleme im Zusammenhang mit dem sogenannten Klimawandel, der die Wasserverteilung im Raum und in der Zeit erheblich beeinflusst. Insbesondere in den Sommermonaten tritt daher zunehmend Wassermangel auf, weshalb es notwendig ist, dieses Gut zu schonen und die nachhaltige Entwicklung des Wasservorkommens nicht nur in menschlichen Siedlungen zu unterstützen.

1 Benötigtes Wasser

1. 1 Wasser und Mensch

Wasser ist ein unverzichtbarer Bestandteil des menschlichen Lebens, und die Leben von Menschen sind davon unmittelbar abhängig. Die Versorgung mit Wasser ist für den menschlichen Organismus notwendig, in der Regel kann ein Mensch höchstens 7 bis 10 Tage ohne Wasser überleben, danach kommt es zu schweren gesundheitlichen Komplikationen, die bis zum Tod führen können. Obwohl ein Mensch täglich 2 bis 3 Liter Flüssigkeit zu sich nehmen sollte, ist diese Menge vor allem aufgrund der ungleichmäßigen Wasserverteilung auf der Erde nicht immer erreichbar. Es gibt also Gebiete auf der Welt, in denen Wasserknappheit herrscht und die Menschen dort mit deutlich geringeren Wassermengen auskommen müssen. Allerdings muss die Wasserverfügbarkeit nicht immer Erfüllung dieser Anforderungen bedeuten, insbesondere aus Gründen der Wasserqualität, die erhebliche Auswirkungen auf die Gesundheit hat [1].

¹ Ing. Marek Teichmann, Ph.D. – FAST VŠB-TU Ostrava

Nach Angaben der WHO haben heutzutage bis zu 17 % der Weltbevölkerung keinen Zugang zu Trinkwasser, was entweder auf eine völlig mangelnde wasserwirtschaftliche Infrastruktur oder auf nur elementare technische Ausstattung zurückzuführen ist. Etwa 35 % der Weltbevölkerung haben Zugang zu Wasser, das jedoch die Mindesthygieneanforderungen nicht erfüllt, sodass jedes Jahr bis zu 3,5 Millionen Menschen an Krankheiten sterben, die durch gesundheitsschädliches Wasser verursacht sind. Von den genannten 3,5 Mio. sind die überwiegende Mehrheit Kinder unter 5 Jahren. 2011 waren fast 90 % aller Menschen, die an Wassermangel oder gesundheitsschädliches Trinkwasser starben, Kinder unter 10 Jahren. In Tschechien ist Zugang zu Wasser eine Selbstverständlichkeit, weltweit ist dies jedoch nicht der Fall. 2019 wurden nur etwa 58 % der Weltbevölkerung durch eine zu ihren Häusern führende Wasserleitung mit Wasser versorgt. Auch die pro Person und Tag verbrauchte Wassermenge variiert weltweit. Während in Tschechien der Verbrauch pro Einwohner bei etwa 100 Litern Wasser pro Tag liegt, beträgt der Wasserverbrauch in einzelnen Entwicklungsländern (insbesondere Afrika und Südamerika) ca. 10 Liter pro Tag. Im Gegenteil, beispielsweise in den USA (ca. 300 l/Person/Tag) oder in Neuseeland (ca. 250 l/Person/Tag) liegt der tatsächliche Verbrauch deutlich höher. Wasser im Allgemeinen ist heute weltweit ein bevorzugtes Thema, wenn nicht sogar ein Phänomen. Da Trinkwasser auf der Erde immer knapper wird, ist es erforderlich, mit Wasser sparsamer als bisher umzugehen.

1.2 Kommunale wasserwirtschaftliche Infrastruktur

Die wasserwirtschaftliche Infrastruktur von Städten und Gemeinden gehört zu den grundlegenden Bauelementen jedes urbanisierten Gebiets; deren Fehlen oder langzeitige mangelhafte Funktionstüchtigkeit hätten fatale Auswirkungen auf das Leben im urbanisierten Raum. Zu den Hauptkomponenten der wasserwirtschaftlichen Infrastruktur gehört im Allgemeinen besonders die Verteilung von Trinkwasser als Grundversorgung der Bevölkerung. Diese wird von Abwasserleitungen und anschließenden Kläranlagen gefolgt, die eine sichere Abwasserbehandlung und somit die Nachhaltigkeit des festgelegten Hygienestandards im jeweiligen Gebiet gewährleisten.

Die Verteilungssysteme zur Wasserversorgung sind eine Vielzahl von Rohrleitungen und technologischen Anlagen, die für die Versorgung der Verbraucher mit der erforderlichen Menge und Qualität von Trinkwasser von der Wasserquelle sorgen. Aus betrieblicher Sicht können Verteilungssysteme zur Trinkwasserversorgung als ein sehr wichtiger Bestandteil aller urbanisierten Gebiete verstanden werden, und zwar schon seit langem. Historisch gesehen verfügte z. B. das antike Rom bereits über hochentwickelte Wasserverteilungssysteme. Seitdem wurden jedoch die Verteilungssysteme weiterentwickelt und deren Betrieb bis zur heutigen Form modernisiert, sodass man feststellen kann, dass in unseren geografischen Verhältnissen relativ genug Wasser vorhanden ist und wir im Vergleich zu anderen Ländern (z. B. Entwicklungsländern) das Trinkwasser für verschiedene Zwecke verwenden, auch wenn die Verwendung von Wasser mit Trinkqualität völlig unnötig ist (z. B. Toilettenspülung). Trinkwasser wird heutzutage in einer Reihe entwickelter (insbesondere europäischer) Länder häufig nicht nur zum direkten Verzehr und zur Speisenzubereitung, sondern auch zu hygienischen Zwecken (Händewaschen, Baden, Toilettenspülen u. ä.) und zur Reinigung (Wäschewaschen, Fenster- und Bodenreinigung u. ä.), zum Bewässern von Gärten, Reinigen oder Beregnen von Straßen, Befüllen von Schwimmbädern sowie in verschiedenen Industrie- und Gewerbebranchen und in der Landwirtschaft verwendet. [2].

Ein anderer Bereich der wasserwirtschaftlichen Infrastrukturen sind Abwassersysteme, deren Aufgabe es ist, verschiedene Abwasserarten aus dem städtischen Gebiet zur Kläranlage oder zum Vorfluter abzuleiten. Nach der Abwasserart werden drei Arten Entwässerungskanäle unterschieden: Schmutzwasser-, Regenwasser- und Sonderabwasserkanäle. Bei der Sonderkanalisation handelt es sich um ein Problem, das im Allgemeinen innerhalb eines nicht standardmäßigen Abwassers produzierenden Gebäudes bzw. Industriegeländes behandelt wird. Innerhalb eines urbanisierten Gebiets können Schmutzwasser (auch kommunales Abwasser genannt) und Niederschlagswasser (Regenwasser) als gewöhnliche Abwässer betrachtet werden. Diese beiden Abwasserarten kommen heute praktisch in jeder Stadt und jedem Dorf vor. Die Art und Weise der Zuführung dieser Abwässer der Kläranlage bzw. dem Vorfluter hängt davon ab, ob diese beiden Abwasserarten getrennt werden oder nicht.

2 Nützliches Wasser

2.1 Flüsse und Wasserflächen in Städten

Wasser und Stadt gehören eindeutig zusammen, dies ist historisch gegeben, als menschliche Siedlungen in der Nähe von Flüssen errichtet wurden. Es waren eben die Flüsse, die in historischen Städten eine wichtige Funktion hatten: sie schützten die Städte von einer Seite, die Vorfluter funktionierten als Hauptwasserversorgung für das städtische Leben, sie dienten auch der Abfallentsorgung. Im Laufe der Zeit hat sich die Rolle der Flüsse verändert, mit dem allmählichen Wachstum der Städte ist Wasser zu einem der wichtigsten städtebildenden Elemente geworden, wie es auch heute noch der Fall ist. Im Allgemeinen ist klar, dass Wasser von wesentlicher Bedeutung fürs Leben der Einwohner ist, dass ohne Wasser kein Leben möglich ist. Dies gilt auch für Städte, die dank des Zugangs zu Wasser in ausreichender Menge und Qualität in der Lage waren, sich von Anfang an bis heute zu entwickeln und ihre Hygienestandards aufrechtzuerhalten.



Abb. 1 Grundriss des vom Flusslauf beeinflussten historischen Stadtkerns – Fluss Moldau, Böhmisches Krumlov (Český Krumlov) [Quelle: Mapy.cz]

Siedlungen, die früher in der Nähe von Flüssen errichtet wurden, haben diese durch den Urbanisierungsgrad bereits "verschluckt", und Wasser ist somit ein Teil der städtebaulichen Konzeption geworden. Dieser Sachverhalt ist in der Abb. 1 (Ortophotokarte der Altstadt von Böhmisches Krumlov) dargestellt, wo man beobachten kann, wie die Stadt bzw. einzelne Stadtelemente (Straßen, Häuserzeilen, Marktplätze u. ä.) die durch den Fluss Moldau bestimmten topografischen Bedingungen kopieren. Mit der allmählichen Zunahme der Bevölkerung und dem zunehmenden Urbanisierungsgrad wurde der Fluss von der Stadt vollständig absorbiert, die Stadtbauung begann sich auf beiden Seiten des Flusses auszudehnen und der Fluss wurde so zu einem vollwertigen Teil der bebauten Fläche.

2.2 Wasser verfügbar machen – Erholung

Heutzutage ist die Einstellung zum Wasser anders, Wasser gilt als ein wichtiges städtebildendes Element, das der Erholung und Entspannung dient, das Stadtklima verbessert (durch Regelung der sog. Wärmeinseln und Erhöhung der Luftfeuchtigkeit), oft ein dominierendes Merkmal darstellt und ästhetische Funktion erfüllt. Dennoch kann man derzeit immer noch mit negativen Auswirkungen von Wasser konfrontiert werden, meist in Extremsituationen wie Überschwemmungen und Hochwasser. Allerdings haben entwickelte Städte bereits effektiven Schutz vor Sturzregenereignissen und sind in der Lage, diesen negativen Auswirkungen standzuhalten. Dies ist jedoch das Ergebnis vieler Prozesse und Kombinationen von Abhilfe- und Förderungsmaßnahmen, insbesondere im Hinblick auf Wasserinfrastruktur und Wasserwerke. Trotzdem ist die Situation jedoch nicht ganz

zufriedenstellend, und die Städte in Tschechien bleiben in vielerlei Hinsicht hinter fortgeschrittenen modernen Städten im Ausland zurück. Viele, insbesondere größere Kommunen haben damit begonnen, die auf ihrem Gebiet befindlichen Gewässer und Wasserflächen zu revitalisieren. Dieser Prozess ist jedoch langwierig und von den räumlichen, finanziellen, politischen und anderen Möglichkeiten des jeweiligen urbanisierten Gebiets abhängig.

3 Unerwünschtes Wasser

Obwohl Wasser ein unweegdenbarer Bestandteil jedes urbanisierten Gebiets ist und obwohl urbanisierte Gebiete ohne Wasser völlig unbewohnbar wären, birgt Wasser auch normale Standards in menschlichen Siedlungen einschränkende Gefahren. Aufgrund des globalen Klimawandels, der nicht nur in Tschechien zu extremen meteorologischen Phänomenen führt, haben die heutigen urbanisierten Gebiete einerseits mit Dürre und andererseits mit enormen Mengen an flutartigem Regenwasser zu kämpfen. Diese extremen Witterungsereignisse bringen Wasserknappheit, Dürre, Hitzewellen und Sturzfluten mit sich, die erhebliche Auswirkungen nicht nur auf die Lebensqualität der Bevölkerung, sondern auch auf die Funktionstüchtigkeit der Infrastruktur, auf natürliche Ökosysteme u. a. haben. Am empfindlichsten äußert sich diese Situation im urbanisierten Raum, wo sie sich mit zunehmendem Urbanisierungsgrad auch noch verschärft. Der drängendste Effekt hierbei ist die Ansammlung von Sturzregenwasser, das auf eine unzureichende natürliche Versickerung in den Untergrund zurückzuführen ist. Die urbanisierten Gebiete bestehen im Vergleich zur Naturlandschaft meist aus einer enormen Menge an versiegelten Flächen, die oft völlig unkontrolliert zunehmen, und so zum Überlaufen der Kanalisation, der Kläranlagen, zur Anschwellung von Wasserläufen und anschließend immer häufiger zu Sturzfluten führen [1, 3].

3.1 Hochwasser

Unerwünschte Auswirkungen von Wasser in städtischen Gebieten treten am häufigsten in Form von Hochwasser und Überschwemmungen auf. Hierbei handelt es sich um Situationen, in denen Wasser unerwünschte Stellen im städtischen Bereich menschlicher Siedlungen erreicht, die so überschwemmten Gebiete beschädigt und das Eigentum und Leben von Menschen und Tieren gefährdet. Unter Hochwasser in diesem Zusammenhang wird ein vor allem durch extreme Wetterschwankungen verursachtes natürliches hydrologisches Ereignis verstanden, das in einem vorübergehenden, aber erheblichen Anstieg des Wasserstands in Gewässern besteht, so dass kleinere oder größere Gebiete mit Wasser überflutet werden [4, 5].



Abb. 2 Folgen von Sturzregen in einem urbanisierten Gebiet – Karviná, 2019 [Archiv des Autors]

Als Folge des sog. Klimawandels kommt es häufig zu enormen Niederschlagsansammlungen in kurzer Zeit und menschliche Siedlungen sind daher zunehmend mit Sturzfluten konfrontiert. Diese werden meist durch heftige, oft nur sehr kurze Regenfälle verursacht, die das Gebiet treffen. Aufgrund der mangelnden Rückhaltefähigkeit des Bodens werden die atmosphärischen Niederschläge nicht automatisch absorbiert, sondern unkontrolliert in Oberflächen-gewässer abgeleitet; dort erhöhen sie den natürlichen Wasserstand und verursachen Überschwemmungen.

Ein Sturzflutereignis ist auch in der *Abb. 2* dargestellt; dort ist Entstehung des durchgehenden Wasserspiegels unter anderem auch auf das unterdimensionierte, durch Sturzregen überforderte Mischwasserkanalnetz zurückzuführen; das Abwasser stieg an der tiefsten Stelle durch Straßeneinläufe in den öffentlichen Bereich der Wohnhäuser auf und bildete dort eine durchgehende Wasseroberfläche.

3.2 Dürre und Wassermangel

Im urbanisierten Raum kann es neben den unerwünschten Auswirkungen des Wassers in Form von Überschwemmungen auch zu einem gegenteiligen hydrologischen Extrem kommen, nämlich der Dürre und dem damit verbundenen Wassermangel. Die sog. hydrologische Dürre, d.h. eine Schwankung im Wasserkreislauf, tritt vor allem als Folge des Niederschlagsdefizits ein und äußert sich im Rückgang der Durchflussmengen in Wasserläufen und in der Grundwasserabsenkung. Eng mit dieser Erscheinung verbunden ist auch die Wasserknappheit als ein vorübergehender Zustand mit möglichen Auswirkungen auf die Grundbedürfnisse der Menschen, auf die Wirtschaftsaktivitäten und die Umwelt, wenn der Wasserbedarf infolge einer Dürre die verfügbaren Wasserressourcen übersteigt und wenn es notwendig wird, den Wasserverbrauch zu reduzieren und weitere Maßnahmen zu treffen [1].

Beide Extreme, d.h. Dürre und Wassermangel, verursachen eine Reihe von Problemen nicht nur in den urbanisierten Gebieten selbst, sondern stellen ein globales Problem dar, das die Funktionalität des normalen menschlichen Lebens bedroht und zu Verlusten und Einschränkungen in vielen wasserverbrauchenden Gewerbebranchen führt; darüber hinaus bringen sie eine Reihe weiterer, insbesondere umweltbedingter Auswirkungen auf Fauna und Flora mit sich. Besonders in den letzten Jahren ist dieses Thema auch in unserem Umfeld immer relevanter geworden, wo sich Dürren und deren Folgen insbesondere in der Senkung des Grund- und Oberflächenwasserspiegels und in den damit verbundenen Einschränkungen (z. B. Wassermangel für die Trinkwasserversorgung und daraus resultierende Einschränkungen) äußern. Die Folgen der Dürre werden auch in der *Abb. 3* dargestellt. Dort wird der Wasserstand der Weichsel in Warschau/Polen im Jahr 2019 gezeigt; der Wasserstand ist dort auf ca. 0,7 m gesunken, obwohl der durchschnittliche Wert in an dieser Stelle ca. 2,4 m beträgt.



Abb. 3 Folgen der enormen Dürre in Form einer reduzierten Durchflussmenge im Gewässer – Fluss Weichsel in Warschau, 2019 [Archiv des Autors]

3.3 Regenwasser im urbanen Stadtkonzept

Die heutigen urbanisierten Gebiete befinden sich aufgrund des Klimawandels, des massiven Bevölkerungswachstums und der damit verbundenen Urbanisierung in einer komplizierten Situation, da auf dem Gebiet der Städte enorme Mengen an Regenwasser anfallen. Derzeit wird der Großteil des Oberflächenabflusses dieser Wasser ins Kanalnetz eingeleitet. Dadurch werden dann häufig zahlreiche Probleme ausgelöst, zu denen insbesondere Überlastung von Kläranlagen, Verschmutzung von Vorflutern aufgrund von Ableitung des aus Regen- und Schmutzwasser bestehenden Mischwassers von den Überlaufkammern im Kanalnetz zählen. Die heutigen urbanisierten Gebiete sind mit vielen negativen Auswirkungen dieser Faktoren konfrontiert. Generell lässt sich jedoch das Problem extremer Wetterereignisse, also extremer Sturzregen und Dürreperioden gerade durch ein effektives Regenwassermanagement lösen. Unter diesem Gesichtspunkt ist klar, dass es notwendig ist, Regenwasser in städtischen Gebieten kontrolliert zurückzuhalten (die sog. Verzögerung des Oberflächenabflusses), und zwar in Form von leicht zu wartenden Oberflächenversickerungs- und Rückhalteanlagen in Verbindung mit Grünanlagen, oder indem undurchlässige gepflasterte Flächen durch wasserdurchlässige ersetzt werden. Auf diese Weise ist es nicht nur möglich, Regenwasser kontrolliert im Gebiet zurückzuhalten, sondern auch die Grundwassermenge zu erhöhen und somit eine höherwertige und nachhaltige, den Witterungsextremen standhaltende Umwelt zu schaffen. Der Prozess des Regenwassermanagements im Rahmen des städtebaulichen Konzepts kann daher als Management der städtischen Regenwässer bezeichnet werden.

Das Regenwassermanagement umfasst eine breite Palette von Lösungen und Möglichkeiten, wie dieses Wasser in urbanisierten Gebieten von Städten und Gemeinden effektiv aufbereitet, abgeleitet oder zurückgehalten werden kann. Generell lassen sich Regenwasser-Managementsysteme in zwei Bereiche einteilen, nämlich danach, ob das Wasser weiter genutzt oder entsorgt wird. Für die mögliche weitere Nutzung des Regenwassers muss man über geeignet gelegene Behälter verfügen, in denen das Regenwasser für spätere Verwendung (Begießen, Toilettenspülung, Recycling usw.) gesammelt werden kann. Aus entsorgungstechnischer Sicht kann Regenwasser entweder durch Einsickerung oder durch Ableitung in die Kanalisation entsorgt werden. Derzeit stößt man überwiegend auf Regenwasserentsorgung durch Zuführung des Regenwassers dem Kanalnetz, was als die am wenigsten effektive Lösung bezeichnet werden kann. Eine Alternative zu solchen Lösungen ist in der *Abb. 4* zu sehen, wo Regenwasser von gepflasterten Flächen in den sog. Regengarten geleitet wird. Insgesamt wird das Regenwassermanagement jedoch von einer Reihe von Faktoren beeinflusst, zu denen neben anwendbaren technischen Lösungen auch die Gegebenheiten der jeweiligen Umgebung und nicht zuletzt der Verschmutzungsgrad des abzuleitenden Regenwassers gehören.



Abb. 4 Ein Regengarten – Polen, Danzig, 2018 [Archiv des Autors]

Fazit

Wasser ist auf der Erde eine erschöpfliche Ressource. Wasserschutz bedeutet, Grundwasser in Grundwasserleitern, Oberflächenwasser und Wasserdampf sowie Niederschläge zu schützen. Es gibt mehrere grundsätzliche Gründe für ein gutes Wassermanagement. Der erste heißt Befriedigung menschlicher Bedürfnisse, d.h. Wasser zum Trinken, zur Bewässerung, zur Stromerzeugung und zu einer ganzen Reihe anderer Tätigkeiten, bei denen Wasser unersetzlich ist. Ein weiterer Grund ist der Schutz der Hydrosphäre und Lösung von Problemen im Zusammenhang mit Mangel an Wasserressourcen, die zu militärischen Auseinandersetzungen um Territorien führen können, sowie Vorbeugung hydrologischer Extremereignisse in Form von Überschwemmungen.

Wasser ist ein integraler Bestandteil jedes städtischen Raums in dem es nicht nur viele Formen annimmt, sondern auch viele Funktionen hat. Ohne Wasser wären Dörfer und Städte völlig unbewohnbar. Diese Tatsache ist bereits aus der Zeit vor Christus bekannt, als die damaligen Städte über eine ausgebaute Wasserinfrastruktur verfügten, zu der nicht nur Wasserversorgungsanlagen wie Aquädukte, sondern auch Anlagen zur Abwasserbeseitigung von den bebauten Gebieten gehörten.

Literaturnachweis

- [1] Davidson, A., Howard, G., Stevens, M., Callan, P., Deere, D., Barteaux, J. Water Safety Plans. WHO/SDE/WSH/05.06. Revise Draft, World Health Organization, Geneva, 2005.
- [2] Zhang, S.; Yang, J.; Wan, Z.; Yi, Y. Multi-Water Source Joint Scheduling Model Using a Refined Water Supply Network: Case Study of Tianjin. *Water* 2018, 10, 1580, doi:10.3390/w10111580.
- [3] Bruaset, S.; Sægrov, S. An Analysis of the Potential Impact of Climate Change on the Structural Reliability of Drinking Water Pipes in Cold Climate Regions. *Water* 2018, 10, 411, doi:10.3390/w10040411.
- [4] KUDA, F. a kol. Městské inženýrství nejen pro městské inženýry, 1. Auflage, IC ČKAIT, Prag 2022, ISBN 978-80-88265-39-9.
- [5] Gesetz Nr. 254/2001 Sb., zu Gewässern und zur Änderung einzelner Gesetze (Wassergesetz). In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2021 [cit. 8. 3. 2021]. Verfügbar unter: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>.

SINKENDE GRUNDWASSERSTÄNDE UND EXTREME REGENEREIGNISSE – GEOTECHNISCHE EINFLUSSPARAMETER AUF BESTAND UND PLANUNG

Peter Hinz², Bodo Neumann³

D

Das Referat behandelt die mit extremen meteorologischen Erscheinungen – Bodenaustrocknung und Starkregenfällen – verbundene Grundwassersituation im Freistaat Sachsen. Für den Raum Sachsen wurden die verfügbaren Grundwasserstände des Landesmessnetzes an ausgewählten Standorten hinsichtlich der langjährigen Ganglinien ausgewertet. Abhängig von der Situation des Baugrundstücks können die Auswirkungen der Grundwasserabnahme auf Bestandsbauwerke gravierend sein. Im Vortrag werden Beispiele von Setzungsschäden bei Gebäuden aufgezeigt, die Jahrzehnte bis -hunderte standgehalten, und erst durch das Austrocknen des Baugrunds in den letzten Jahren Schaden erlitten haben. Im Gegensatz dazu treten neben den sinkenden Grundwasserständen in den letzten Jahren extreme Regenereignisse ein. Größere Bemessungswasserstände stehen einer ressourcenschonenden und nachhaltigen Bauweise konträr gegenüber. Daraus resultieren neue Herausforderungen bei der Festlegung der Anforderungen an die Bemessung und die Bauwerke, insbesondere bei Versickerungsanlagen. Das Planungsziel ist es, Regenwasser vor Ort aufzufangen, die langjährige "Sammeln-und Ableiten"-Methode rückt in den Hintergrund. In diesem Sinne weist das Referat auf verschiedene Ansätze hin, die gerade im Bereich des Übergangs zwischen guter und fehlender Wasserdurchlässigkeit des Bodens zu realisierbaren Lösungen führen.

Einführung und Problemstellung

Neben den Baugrundverhältnissen spielen die Grundwasserverhältnisse eine wichtige Rolle für die Baugrundverformungen über die Lebensdauer des Bauwerks. Die Grundwasserverhältnisse können für den Tag der Baugrunderkundung noch genau ermittelt werden. Für die Vergangenheit existiert im besten Falle eine Grundwasserganglinie am Standort. Für die zukünftige Entwicklung der Ganglinie lassen sich daraus jedoch nur bedingte Schlussfolgerungen ziehen, ohne eine Garantie auf die Gültigkeit. Bemessungswasserstände sind deshalb als Prognosen unter konstanten Randbedingungen zu verstehen.

In den letzten Jahren sind die Randbedingungen jedoch nicht mehr als gleichbleibend zu beschreiben. Weltweite Folgen der Erderwärmung zeigen extreme Wetterereignisse, angefangen von langanhaltender Trockenheit mit sinkenden Grundwasserspiegeln bis hin zu extremen Starkregen und immer höheren Hochwassermarken. Davon betroffen sind bekannte Beispiele wie die Stadt Venedig mit einer massiven Flutbarriere gegen Hochwasser, ganze Landstriche in den Niederlanden mit Problemen wegen Bodensenkungen oder Südspanien mit extremer Trockenheit im Frühjahr 2023.

Auch wenn die Fälle unterschiedlich gelagert sind und sich die Ursachen stark voneinander unterscheiden, so sind doch mit allen auch veränderte (Grund-)wasserverhältnisse und Prozesse im Baugrund damit verbunden. Schrumpfsetzungen des Bodens durch Austrocknung haben in den letzten Jahren zunehmend Bauwerksschäden verursacht. Davon betroffen sind insbesondere tonige Böden, bei welchen ein nennenswerter Anteil von quellfähigen Mineralien vorhanden ist, aber auch organische Böden, z. B. Torf, bei denen die Volumenminderung auf Abbau- und Zersetzungsprozesse der organischen Bestandteile zurückzuführen ist. Während in Deutschland im Zusammenhang mit Schrumpfsetzungen vor allem die tonigen Böden eine Rolle spielen, ist beispielsweise in den benachbarten Niederlanden der Einfluss aus den organischen Bestandteilen auf den Schrumpfsetzungsprozess viel größer. Die dort flächig verteilten, torfigen Moorböden führen zu flächig verteilten Setzungen infolge Grundwasserabsenkungen, welche wiederum der produktiven Landwirtschaft sowie dem Klimawandel zuzuschreiben sind. Bild 1 zeigt beispielhaft die sogenannte Bodensenkungskarte der Niederlande eindrucklich die Größenordnung von Bodensenkungen mit bis zu 5 mm pro Jahr praktisch im gesamten Gebiet der Niederlande verteilt. Hinzu kommen gründungsspezifische Besonderheiten bei einer Reihe von Bauwerken. Diese sind oftmals auf Holzpfehlen abgesetzt, welche auf veränderte Grundwasserverhältnisse sehr empfindlich bis hin zum Totalverlust der Tragfähigkeit reagieren.

² Dr.-Ing. Peter Hinz, IBG Leipzig

³ Dipl.-Ing. Bodo Neumann, Büro für Geotechnik Ivanics & Neumann PartGmbH, Dresden

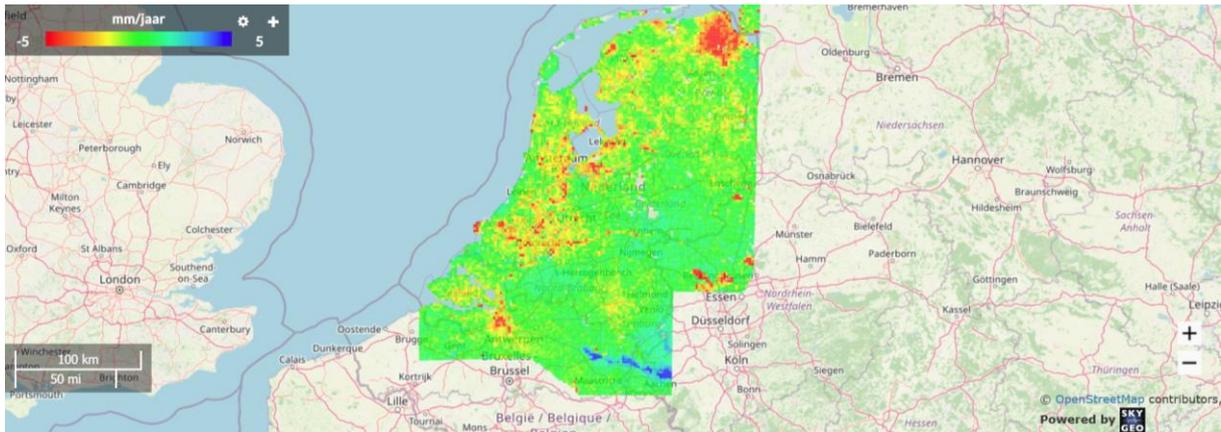


Bild 1 Bodensenkungskarte der Niederlande [Quelle: <https://bodemdalingkaart.nl/portal/index>]

Grundwassersituation im Freistaat Sachsen

Für den Raum Sachsen wurden die verfügbaren Grundwasserstände des Landesmessnetzes an ausgewählten Standorten hinsichtlich der langjährigen Ganglinien ausgewertet. Die analysierten Standorte konzentrieren sich auf die Zentren um Leipzig, Dresden, Chemnitz sowie um die Bergbaufolgelandschaft im Südraum von Leipzig, siehe Bild 2.

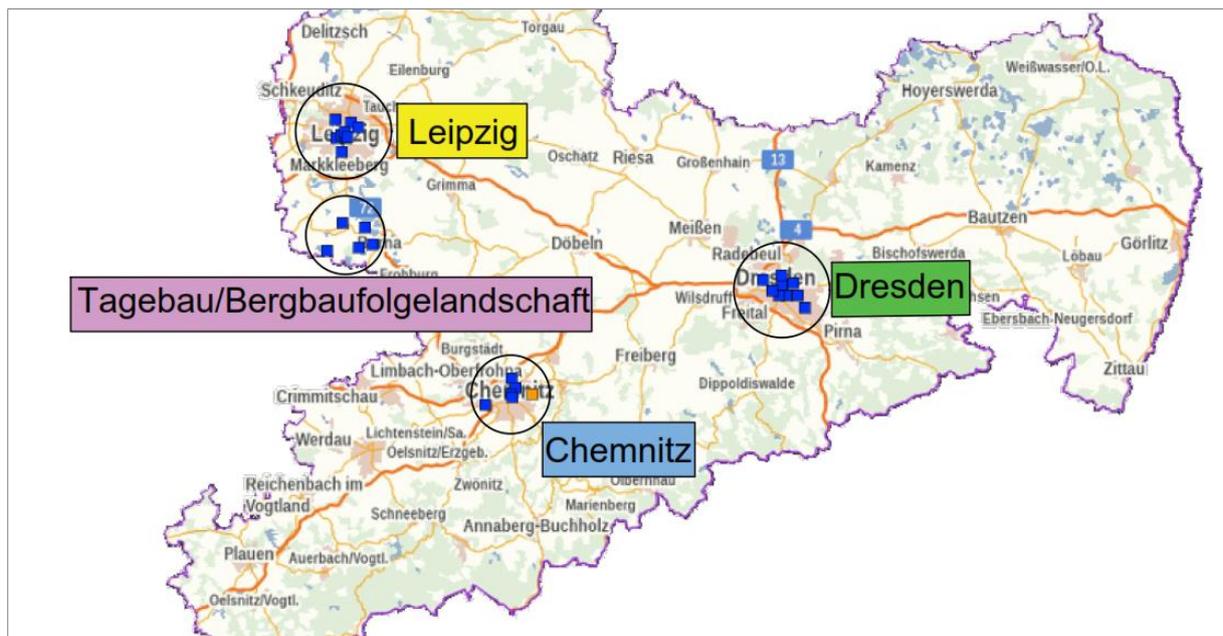
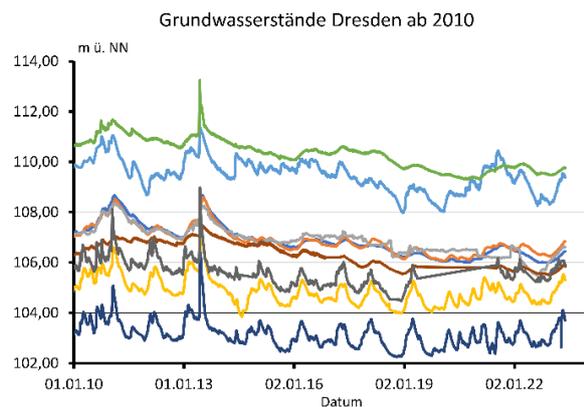
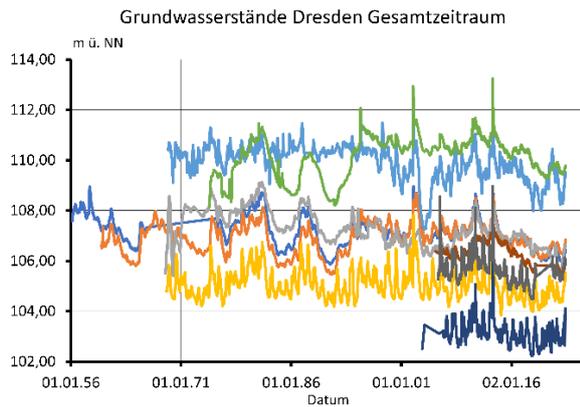


Bild 2 Standorte der ausgewerteten Grundwassermessstellen in Sachsen, Kartengrundlage LfULG

Die Ganglinien für diese Standorte sind in den nachfolgenden Diagrammen dargestellt. Linksseitig sind die Daten über den gesamten Dokumentationszeitraum aufgetragen. Rechtsseitig wird nur der Zeitraum seit dem Jahr 2010 gezeigt. Ein eindeutiger Trend mit abnehmenden Grundwasserständen ist daraus nicht ableitbar. Für die unterschiedlichen Standorte lassen sich folgende Grundaussagen finden.

Dresden



- Messstelle 49483516 Dresden-Seevorstadt, Stübelallee
- Messstelle 49483596 Dresden-Seevorstadt, Prager Str., B 3596
- Messstelle 49484007 Dresden-Löbtau, Löbtauer Str., B 224007
- Messstelle 49486604 Dresden-Kaditz, Siemens-Technopark
- Messstelle 49487021 Dresden, Neustadt, Bautzner Str., Sal 03/94

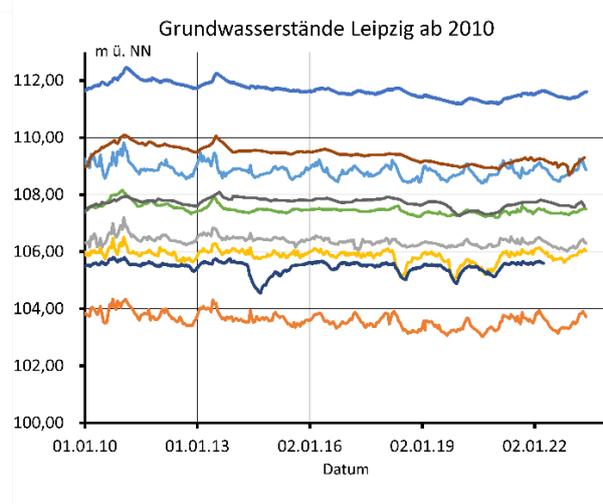
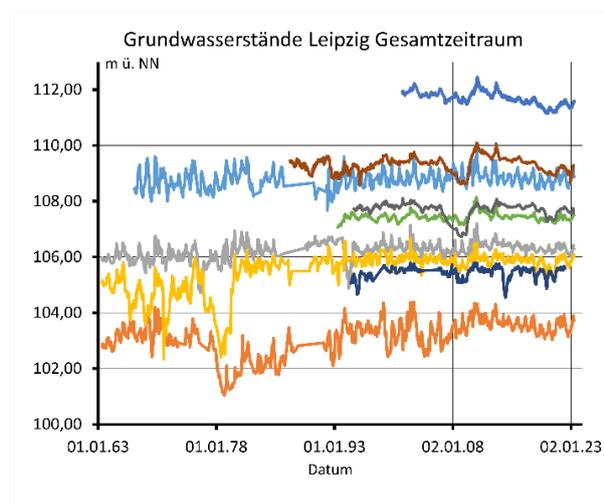
- Messstelle 49483524 Dresden-Striesen, Pohlandplatz
- Messstelle 49484004 Dresden-Neustadt, Königstraße
- Messstelle 49484032 Dresden-Dobritz
- Messstelle 49487007_3 Dresden BärnsdorferBärwalder Str., BMNr. 9.2

Bild 3 Grundwasserstände Dresden [Quelle: <https://geoportal.sachsen.de/>]

Neben dem hervorstechenden Hochwasserereignis 2013 sind regelmäßige Phasen zu- und abnehmender Grundwasserstände erkennbar. Ab dem Jahr 2017 sind bei einigen wenigen Messstellen Tiefstwerte dokumentiert, mit denen sich sinkende Grundwasserspiegel nachweisen lassen. Allerdings sind bei weitem nicht alle Pegel betroffen. Von 9 ausgewerteten Pegeln sind an 5 Pegeln Abweichungen nach unten zu verzeichnen.

Dazu gehört auch die Feststellung, dass bei allen dieser 5 Pegel seit dem Jahr 2021 auch wieder ansteigende Grundwasserpegel gemessen wurden. Eine generelle Absenkung in der Fläche ist nicht gegeben.

Leipzig



- Messstelle 4640E0208 Leipzig-Schönefeld, B 101
- Messstelle 46400023 Leipzig, Schleußig, B 462
- Messstelle 46400033 Leipzig, Connewitz
- Messstelle 46400415 Afu 195 Naschmarkt
- Messstelle Leipzig, BD, B D93, 46400072_2

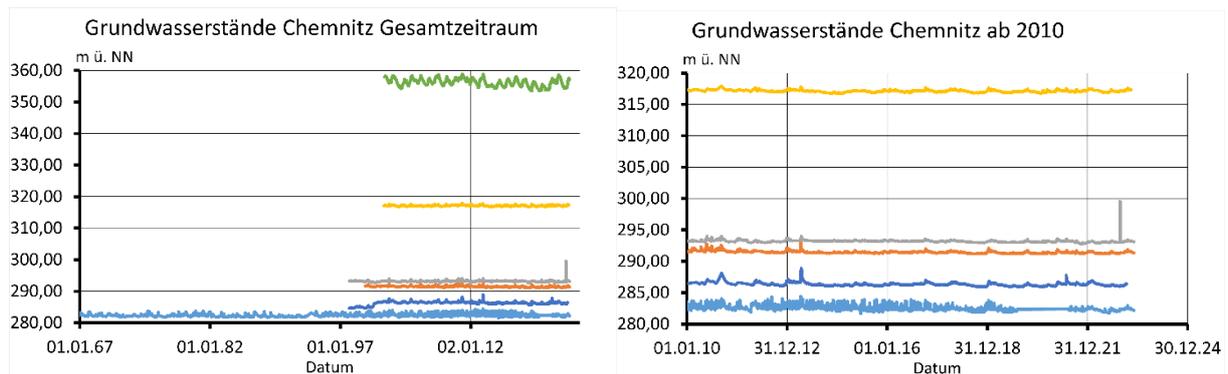
- Messstelle 46400021 Leipzig, Gohlis, Geo 00013c, B 262
- Messstelle 46400026 Leipzig, B 762
- Messstelle 46400039 Leipzig, Neustadt, GWBR 293
- Messstelle 46401403 Leipzig, Geo004b4d, B 187

Bild 4 Grundwasserstände Leipzig [Quelle: <https://geoportal.sachsen.de/>]

Die Grundwasserstandsmessungen zeigen über die Jahre generell starke Schwankungen. Beeinflusst durch nahegelegene Tagebaue kann man Grundwasserabsenkungen und Grundwasserwiederanstiege erkennen. Eine grundsätzliche Absenkung der Wasserstände infolge Trockenheit in den letzten 5 Jahren lässt sich nur an einzelnen Messstellen aufzeigen, wobei die Absenkung nicht immer den tiefsten jemals gemessenen Grundwasserstand erreicht. Jahreszeitliche Schwankungen sind erkennbar.

Chemnitz

Aufgrund der Lage von Chemnitz am Rande des Erzgebirges sind erwartungsgemäß deutliche Unterschiede in der Höhenlage der einzelnen Grundwasserspiegel zu verzeichnen. Jedoch sind mehr oder weniger konstante Grundwasserstände dokumentiert. Die einzelnen Messwerte weisen keine großen Schwankungsbreiten auf. Absinkende Grundwasserstände sind nicht zu erkennen.



- Messstelle 5143S0003 Chemnitz,GWM 595, P1 Josephinenplatz
- Messstelle 5143S0005 Chemnitz,GWM 1
- Messstelle 5143S0008 Chemnitz,P1, Annaberger Str
- Messstelle 5143S0027 Chemnitz,GWMS5 Diamantbrücke
- Messstelle 51433277 Chemnitz, Furth
- Messstelle 51436006 Chemnitz, Zeisigwald GWM82, B 894

Bild 5 Grundwasserstände Chemnitz [Quelle: <https://geoportal.sachsen.de/>]

Bergbaufolgelandschaft im Südraum von Leipzig

Über den gesamten verfügbaren Messzeitraum sind deutliche Veränderungen vorhanden. Grundwasserabsenkungen infolge des Tagebaubetriebs sind ebenso offensichtlich wie der Grundwasserwiederanstieg infolge Einstellung des Tagebaubetriebs. Akute Absenkungen in den letzten 5 Jahren durch Trockenheit und Niederschlagsmangel sind aus den ausgewerteten Ganglinien bis auf eine Ausnahme nicht abzulesen.

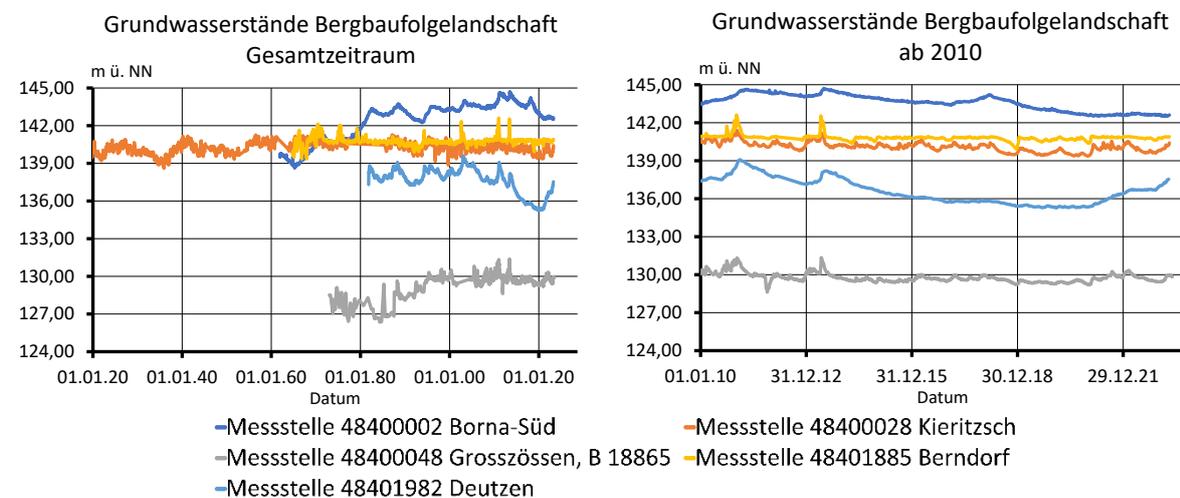


Bild 6 Grundwasserstände Bergbaufolgelandschaft [Quelle: <https://geoportal.sachsen.de/>]

Allgemeine Bewertung der ausgewählten Ganglinien

Sinkende Grundwasserstände sind für die ausgewählten Ganglinien nicht einheitlich belegt. Gleichwohl zeigen einzelne Messstellen sinkende Wasserstände gegenüber dem langjährigen Mittelwert, insbesondere innerhalb der letzten 5 Jahre. Daraus folgt, dass zumindest lokal das Problem sinkender Grundwasserstände im Freistaat Sachsen vorhanden ist. Diese Aussage bezieht sich nur auf die ausgewerteten Daten und lässt weder eine Verallgemeinerung für die nicht ausgewerteten Daten, noch für die Gebiete ohne messtechnische Erfassung zu.

Desweiteren berücksichtigt die Auswertung nur die Datengrundlage der Grundwasserstände. Eine genaue Ableitung des Gefährdungspotenzials durch Schrumpfprozesse benötigt zusätzliche Angaben zur Feuchtigkeit im Boden, auch als natürlicher Wassergehalt bezeichnet. Eine ausführliche Betrachtung inklusive Probenahme und Erfassung der Wassergehalte mit anschließender, umfassender Auswertung müsste auch den Wasserhaushalt und das Niederschlagsgeschehen mit einbeziehen. Für die hier benötigte Aussage wird die aufgezeigte Datengrundlage jedoch als ausreichend erachtet.

Übersicht Formänderungen im Baugrund

Es ist bekannt, dass Grundwasserabsenkungen Verformungen, d.h. Setzungen, im Baugrund verursachen können. Die Baugrundsetzungen können unterschiedliche Gründe haben. Oftmals spielen dabei von Menschen gemachte, bauliche Eingriffe eine Rolle. Es kann sich i. A. um Auswirkungen aus Rohstoffgewinnung und Bergbau, aus dem Bau von Infrastruktur oder aus einfachen Tiefbaumaßnahmen handeln.

Grundsätzlich kommen mit baulichen Eingriffen an oder neben Bestandsbauwerken folgende setzungs- und schiefstellungsinduzierenden Ursachen in Frage:

- Lasterhöhung durch Nutzungsänderung und/oder Umbauten des Bauwerks;
- dynamische Einwirkungen, z. B. aus benachbarten Verkehrslasten und Erschütterungen;
- unterschiedliche Gründungsböden mit unterschiedlichen Last-Setzungsverhalten;
- Konsolidationssetzungen des Bodens infolge Abbaus des Porenwasserüberdruckes;
- Zersetzungsprozesse in organischen Böden, z. B. beschleunigte Abbauprozesse in Torf nach Grundwasserspiegelabsenkung;
- Zersetzungsprozesse in Gründungspfählen aus Holz, z. B. durch Pilzbefall oder nach Sauerstoffkontakt infolge Grundwasserabsenkung;
- Kriechsetzungen des Bodens (Relaxation);
- außergewöhnlich niedriger Grundwasserstand, der tiefer als die jemals zuvor aufgetretenen Grundwasserstände liegt und damit die ursprüngliche Auftriebskraft reduziert;
- Schrumpfsetzungen des Bodens durch Austrocknung.

Diese Aufzählung ist nicht zwingend abschließend und stellt mögliche Ursachen zusammen, von denen jede einzelne an einem bestimmten Standort mehr oder weniger, ggf. gar nicht, ins Gewicht fällt. Eine eindeutige Abgrenzung der Ursachen gegeneinander ist in aller Regel nicht möglich. Im Folgenden werden deshalb die Auswirkungen auf den Baugrund und die bodenmechanischen Prozesse beleuchtet.

Risschäden an einer Kirche im Südraum von Dresden

Es handelt sich um die zweitälteste Kirche in Dresden mit einer Ersterwähnung um das Jahr 1050. Um das Jahr 1180 wurde der Turm als Wehr- und Schutzturm errichtet, zwischen 1400 und 1428 wurde das Langhaus errichtet und erweitert. Weitere Anbauten erfolgten in den Jahren 1720 und 1727. Im Jahr 1665/66 erfolgte eine Reparatur des Turmes. 1813/1814 wurde die Kirche bei der Schlacht bei Dresden (Napoleonischer Krieg) schwer beschädigt. Wiederholt wird in den Unterlagen von notwendigen Reparaturmaßnahmen berichtet. Die vorletzte Sanierung erfolgte in den Jahren 1999/2000.

Das nachfolgende Foto zeigt die weithin sichtbare, stadtteilprägende Silhouette der Kirche im aktuellen Zustand.



Bild 7 Ansicht von Nordwesten 2023

Beginnend im Jahr 2016, verstärkt in den Jahren 2017 und 2018, traten erneut Rissbildungen mit Schäden auf, die besonders im Innenraum der Kirche sichtbar wurden. Der Fortgang der Schäden führte zu einem Zustand mit eilweiser Einsturzgefahr des Gebäudes. Die Emporen mussten aus Sicherheitsgründen gesperrt werden.

Die folgenden Bilder zeigen einen Teil der eingetretenen Schäden:

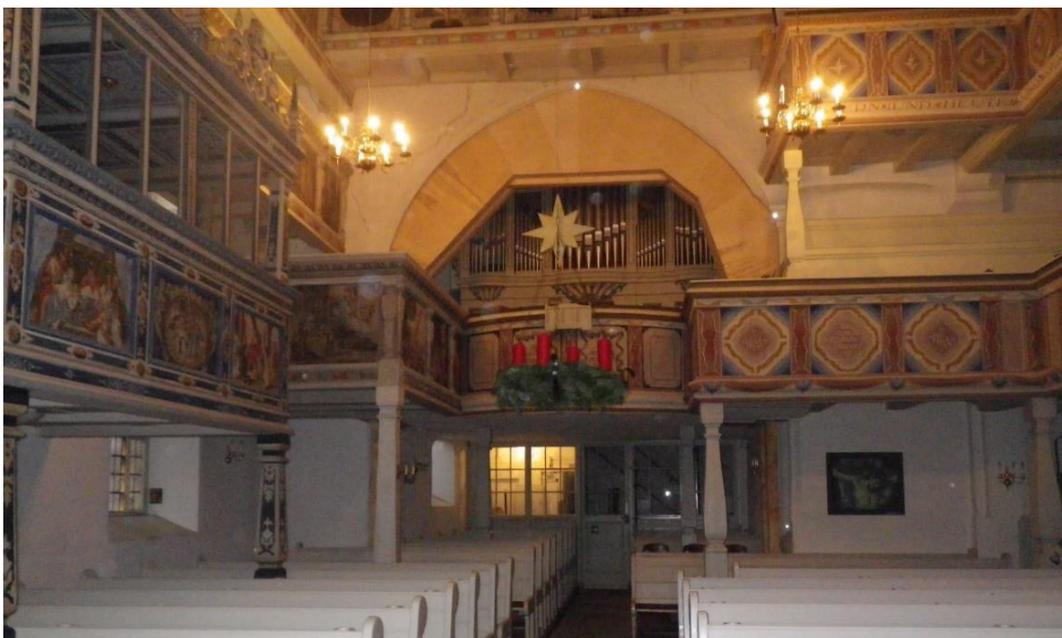


Bild 8 Übersicht Kirchenschiff mit Orgelbogen



Bild 9 Orgelbogen mit Unterstützung

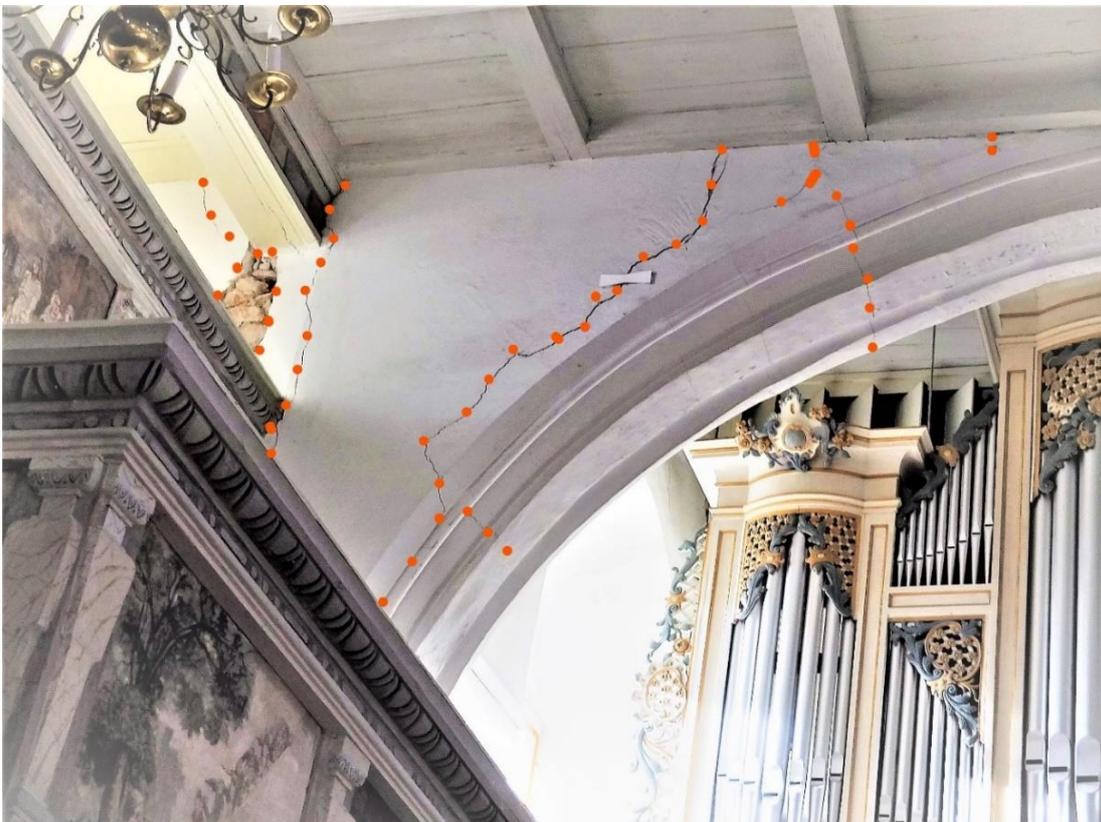


Bild 10 Risse neben dem Orgelbogen



Bild 11 Risse im Fußboden vor Altar

Was ist der Grund für diese Schäden? Wir fragen als Geotechniker zunächst: Woraus besteht der Untergrund?

Die Kirche steht auf einem Hügel am Südrand des Dresdner Elbhanges. Der Untergrund wird im Wesentlichen aus kreidezeitlichem Tonstein (Turon), lokal als Plänermergel von Räcknitz gebildet. Dieser Boden ist ein Bestandteil der Gesteine des Sächsisch-Böhmischen Kreidemeeres.

Diese Kreidesteine bestehen aus einem Gemisch von Sand, Schluff, Ton und Kalk. Der jeweilige Anteil dieser Bestandteile ist vor Allem genetisch bedingt. Dabei können sandig-schluffige Gesteine infolge ihrer Kornstruktur eine sehr hohe Festigkeit aufweisen. Ihre Wasserempfindlichkeit ist nicht besonders groß.

Im vorliegenden Fall besteht der Plänermergel hauptsächlich aus Ton und Kalk und untergeordnet aus Sand. Damit werden die Eigenschaften besonders durch die plattigen Tonminerale bestimmt.

Am Standort der Leubnitzer Kirche besteht der Plänermergel zu ca. 20 % aus Quarz, 40 % Calcit (Kalkspat), je ca. 10% Kaolinit und Illit sowie zu ca. 20 % Montmorillonit-Illit in Wechsellagerung. Während das Kaolinit als nicht quellfähig gilt, ist Illit als teilweise quellfähig und Montmorillonit als stark quellfähig einzustufen. Quellfähige Böden haben zugleich die Eigenschaft, bei Wasserentzug zu schrumpfen.

Im Rahmen der Baugrunduntersuchungen im Jahr 2019 wurden natürliche Wassergehalte im Boden an der Südseite der Kirche mit ca. 10 % ermittelt. Diese lagen deutlich unterhalb des Parameters „Wassergehalt an der Schrumpfgrenze“, der bei den Böden am Standort bei ca. 20 % liegt. Dieser Wert bezeichnet den Wassergehalt am Übergang von der halbfesten zur festen Konsistenz und ist in DIN 18122-2 von November 2020 genormt. Festgestellt wird ein Farbumschlag, welcher den Übergang von einem „dunklen“ Boden zu einem „hellen“ Boden kennzeichnet. Bei weiterer Trocknung tritt keine merkliche Volumenänderung (Schrumpfung) ein.

Was war die Voraussetzung für die Schäden?

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Übersicht der Wetterdaten der benachbarten Messstation Dresden-Strehlen für einen Zeitraum von 13 Jahren:

Tab. 1 Wetterdaten am Standort der Kirche [Quelle: www.Wetterkontor.de]

Jahr	Mittlere Temp. [°C]	Minimum Temp. [°C]	Maximum Temp. [°C]	Niederschlag [l/m ²]	Regenreichster Tag [l/m ²]	Sonnenscheindauer [h]	Sommertage	Heiße Tage	Frosttage
	[°C]	[°C]	[°C]	[l/m ²]	[l/m ²]	[h]			
2010	9	-18,9	36,7	897,8	47,2		52	19	104
2011	10,8	-14	32,9	613,8	62		61	10	76
2012	10,3	-20,8	39,7	652	31,5		63	21	70
2013	9,8	-16	36,8	736,9	49,1		61	16	91
2014	11,5	-13	35	615,5	57,6		48	15	56
2015	11,4	-4,7	38,9	599,4	51,5		58	29	59
2016	10,7	-15,9	34,9	675,7	31,3		67	16	76
2017	10,9	-12,5	35,3	393,3	19,6		59	20	69
2018	11,7	-14,4	36,5	393,1	36,5		94	39	63
2019	11,2	-9,9	38,1	460,8	21,2		73	34	51
2020	11,5	-7,4	35,8	573	53,2		66	20	57
2021	10,1	-18	34,7	661,9	37,2		59	12	73
2022	11,4	-13,1	39,2	472,8	41,9		67	24	59

Festzustellen sind für die Jahre 2017 bis 2020 deutlich unter dem langjährigen Mittel von ca. 660 l/m² liegende Jahresniederschläge, gepaart mit einer hohen Anzahl von Sommertagen und Heißen Tagen in den Jahren 2018 und 2019.

Die meisten Schäden an der Kirche sind im Bereich der Südwand eingetreten, wo die Sonne nahezu ganztägig eine Gräberfläche ohne Baumbewuchs bescheint. Hierdurch ist eine überdurchschnittliche Verdunstung des Bodenwassers eingetreten. Zur Verdeutlichung der Wassergehalte im Boden folgt im Bild 12 ein Querschnitt durch das Kirchenschiff mit Darstellung der Bodenwassergehalte.

Als Ursache für die Schäden konnte die übermäßige witterungsbedingte Austrocknung der schrumpfpföndlichen Böden ermittelt werden. Die Schrumpfungen hatten ihr Maximum in den am stärksten besonnten Arealen und waren untypischerweise im Bereich eines großen Baumes geringer.

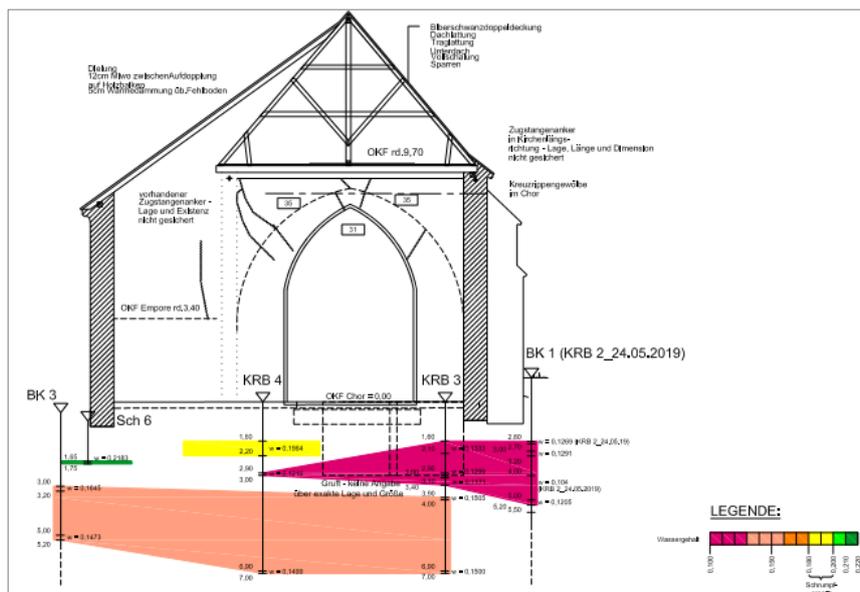


Bild 12 Querschnitt Feuchteprofil durch die Kirche

Zur Reparatur wurden Kleinbohrpfähle durch die Fundamente mehr als 10 m tief in den Untergrund eingebohrt. Ergänzend wurde das Mauerwerk vernadelt, verankert und neu verfügt. Die Geländeoberfläche an der Südseite der Kirche wurde unterirdisch mit einer Folie versiegelt, um den Bodenwasserhaushalt zu stabilisieren.



Bild 13 Südseite mit unterirdischer Bodenversiegelung

Die Gesamtkosten der Baumaßnahme beliefen sich auf ca. 2,2 Mio. €. Nunmehr ist das Kirchengebäude wieder standsicher und strahlt von der Höhe in die Stadt.

Formänderungen infolge Schrumpfen von Böden

Damit kommt tonigen Böden und deren Setzungszunahme infolge Kriechen und Schrumpfen besondere Bedeutung zu. Tonige Böden reagieren bei einer Änderung des Wassergehalts - ob Zu- oder Abnahme - empfindlich und zeigen dann Volumenänderungen proportional zur Wassergehaltsänderung. Dem entgegen steht die geringe Wasserdurchlässigkeit, die eine Änderung des Wassergehalts nur sehr langsam und über große Zeiträume, man spricht von mehreren Wochen, eher Monaten, zulässt. Herrscht ungewöhnliche Trockenheit, sind optimale Voraussetzungen für das Eintreten von Schrumpfprozessen gegeben.

Für das sogenannte Schrumpfmaß kann typischerweise eine Größenordnung von ca. 10 bis 15 % ermittelt werden. Das bedeutet, dass bei Austrocknung des Bodens bis zur Schrumpfgrenze Volumendehnungen von 10 % und mehr auftreten können. Damit sind zum einen Setzungen vorprogrammiert.

Untersuchungen gehen davon aus, dass Austrocknungsprozesse im Boden bei exponierter Lage leicht eine Tiefe von 1,5 m und maximal bis 6,0 m unter der Geländeoberfläche erreichen können. Diese Tiefe reicht aus, um unter einem annähernd ausgelasteten Streifenfundament rechnerische Setzungen im Dezimeterbereich zu ermitteln. Auch wenn nur ein Bruchteil dieser Größenordnung eintritt, sind in Kombination mit einer Fundamentierung im Grenzzustand bauwerksunverträgliche Setzungen, Setzungsdifferenzen und Schiefstellungen vorprogrammiert und unvermeidlich.

Eine messtechnische Überwachung gefährdeter Objekte, bevor Bauwerksschäden eintreten, würde die Zahl der Schadenfälle reduzieren oder zumindest die Schäden begrenzen. Das erforderliche Werkzeug, sprich die Bodenkennwerte und die Berechnungsmethoden, ist vorhanden. Sie müssen nur konsequent angewendet werden. Dies betrifft konkret den Versuch zur Bestimmung der Schrumpfgrenze, der z. B. in Deutschland in der DIN 18122-2 von November 2020 genormt ist. In diesem Versuch wird die Schrumpfgrenze am oben genannten Farbumschlag identifiziert, welcher den Übergang von einem „dunklen“ Boden zu einem „hellen“ Boden kennzeichnet.

Mit diesem Farbumschlag wird auch der Übergang von der halbfesten zur festen Konsistenz beschrieben. Inwiefern das Erkennen des Farbumschlages in einer digitalisierten Welt als zeitgemäß betrachtet werden kann, bleibt offen. Es ist allerdings eine bewährte und anerkannte Methode.

Starkregenereignisse und geotechnische Randbedingungen

Neben der Austrocknung von Böden stellen Starkregen- und Extremwetterereignisse neue planerische und bauliche Herausforderungen dar. Für die Planung und Dimensionierung von z.B. Stadtentwässerungsnetzen, Pumpwerken, Kläranlagen und Rückhaltebecken werden statistische Auswertungen zu Starkniederschlagsereignissen genutzt. Hier wird von Starkniederschlag gesprochen, wenn die Niederschlagshöhe einer bestimmten Zeiteinheit im statistischen Mittel am betrachteten Ort nur einmal im Jahr oder seltener auftritt. Bemessungsgrundlage bildet für Deutschland der sogenannte KOSTRA-Datensatz, der in regelmäßigen Abständen aktualisiert wird und zuletzt mit Stand vom Januar 2023 vorliegt.

Das Aufnahmevermögen des Bodens, gekennzeichnet durch die Wasserdurchlässigkeit und den verfügbaren Porenraum, wird wie bereits eingangs erwähnt, mit der Baugrunderkundung festgestellt.

Gültiges Regelwerk hinsichtlich einer planmäßigen Versickerung von Niederschlagswasser ist in Deutschland das Merkblatt DWA-A 138, welches aktuell in der Entwurfsfassung aus dem Jahr 2020 vorliegt.

Als allgemeine Kriterien der Versickerungsfähigkeit gelten ein Wasserdurchlässigkeitsbeiwert von $k_f \geq 1 \times 10^{-6}$ m/s sowie ein verfügbarer Sickerraum von mindestens 1,0 m zwischen Unterkante der Versickerungsanlage und dem mittleren höchsten Grundwasserstand (MHGW). Somit existieren verhältnismäßig starre Bemessungsregeln, die eine Abweichung von diesen anerkannten Regeln erschweren. Selbstverständlich sind auch Böden mit Wasserdurchlässigkeitsbeiwerten mit $k_f \leq 1 \times 10^{-6}$ m/s in der Lage, Wasser aufzunehmen, mit dem Unterschied zum "versickerungsfähigen" Boden, dass die Aufnahme mehr Zeit braucht. Ebenso bewirkt die Festlegung des Mindestabstandes von 1,0 m zum Grundwasserhorizont MHGW, dass all die Fälle mit einem geringeren Abstand als problematisch bis nicht genehmigungsfähig bewertet werden.

Tatsächlich gibt es Baugrundsichtungen mit gefüllten, ausgedehnten Grundwasserleitern, die bei entsprechender Druckbeaufschlagung eine Versickerung ermöglichen.

Obwohl technisch mit entsprechender Dimensionierung der Betrieb einer Versickerungsanlage machbar wäre, überlässt das Regelwerk DWA-A 138 die Entscheidung über die Genehmigungsfähigkeit der Abstimmung zwischen Fachplaner und der zuständigen Behörde. An dieser Stelle besteht eine Lücke, die von den Beteiligten unterschiedlich interpretiert werden kann. Zum einen eröffnet sie die Möglichkeit, bei erfolgreicher Abstimmung auch kreative Lösungen umsetzen zu können, andererseits besteht aber auch die Gefahr, bei misslungener Abstimmung nur althergebrachte Lösungen, ohne jeden Innovationsschub, umsetzen zu können.

Insofern wird hier für den Nachweis einer Versickerungsfähigkeit plädiert, wo die Randbedingungen vorab weniger scharf abgegrenzt werden, sondern vielmehr rechnerische Nachweise der Versickerungsfähigkeit, beispielsweise unterstützt durch praktische Versickerungsversuche, erbracht werden. Unbestritten bleibt, dass es Konstellationen aus Baugrundverhältnissen, Topografie und Bauwerk gibt, die eine planmäßige Versickerung unmöglich machen. Die planerische Herausforderung besteht nun darin, genau diese Fälle eindeutig zu erkennen und bei allen anderen, diffusen Versickerungsverhältnissen eine funktionierende Versickerungsanlage zu entwerfen.

UMBAU DER GEMEINDE KÜRNACH ZUM SCHWAMMDORF

Heinz Joachim Rehbein⁴

D

Die Gemeinde Kürnach liegt im Nordwesten Bayerns ca. 8 km nordöstlich von Würzburg und hat etwa 5.000 Einwohner. In ganz Deutschland äußert sich der Klimawandel im Sommer durch lange Trockenperioden und immer häufiger auftretende Starkregenereignisse. Ein Katastrophenregen im Juli 2019 führte in Kürnach zur Überflutung einzelner Straßen und Wohngebäude. Dies nahm die Gemeinde zum Anlass ein Hochwasser-Management einzuführen. Ein Bestandteil dieses Hochwasser-Managements ist die Erstellung einer Studie zur Entwicklung eines klimaresilienten Schwammstadt-Konzeptes. Dabei ist das Hauptziel für die Gemeinde, große Mengen an Regenwasser aufzunehmen, zu speichern und zeitverzögert wieder abzugeben.

EN

The municipality Kürnach is located in the northwest of Bavaria about 8 km northeast of Würzburg and has about 5,000 inhabitants. Throughout Germany, climate change manifests itself in the summer through long dry periods and increasingly frequent heavy rainfall events. A catastrophic rain in July 2019 led to the flooding of individual streets and residential buildings in Kürnach. This prompted the community to introduce a flood management system. One component part of this flood management is the creation of a study for the development of a climate resilient sponge city concept. The main goal for the municipality is to absorb large quantities of rainwater, store them and release it again after a delay.

Allgemeines

Die Gemeinde Kürnach liegt im Nordwesten Bayerns ca. 8 km nordöstlich von Würzburg. Sie hat eine Gesamtfläche von 12,3 km². Davon sind 8,0 km² landwirtschaftliche Fläche und 1,8 km² Wald. Die Einwohnerzahl ist seit 1950 kontinuierlich auf aktuell 5.131 angestiegen und hat sich innerhalb der letzten 40 Jahre ungefähr verdoppelt (Stand 31. 12. 2022; vgl.: <https://www.kuernach.de/gemeinde/gemeindeportrait/zahlen-daten-fakten/index.html>; abgerufen am 11. 05. 23 um 10.05 Uhr). In Kürnach fallen pro Jahr etwa 757 mm Niederschlag. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 9,9 °C (Stand 2021, vgl.: <https://de.climate-data.org/europa/deutschland/bayern/kuernach-710509/>; abgerufen am 11. 05. 23 um 11.14 Uhr).

Neubauten in der Siedlungsentwässerung realisiert Kürnach seit über 20 Jahren konsequent im Trennsystem, d. h. Schmutz- und Regenwasser werden getrennt bewirtschaftet. Schmutzwasser wird zur Kläranlage nach Würzburg geleitet, Regenwasser wird zurückgehalten, um möglichst nah am Ort des Niederschlags zu versickern und zu verdunsten. Seit etwa 10 Jahren ändert Kürnach auch bei Baumaßnahmen an der bestehenden Infrastruktur das vorhandene Mischwasser-Kanalsystem in ein Trennsystem, soweit das technisch machbar ist. Damit übt die Gemeinde Kürnach eine Vorreiterrolle in der Regenwasserbewirtschaftung aus.

Anlass der Studie

Daten aus dem Wetterdatenverbund des Deutschen Wetterdienstes zeigen, dass mit zunehmendem Starkregindex die Regenereignisse immer weniger vom Bodenrelief abhängig sind oder – vereinfacht ausgedrückt – ein Starkregen jeden Ort in Deutschland treffen kann, unabhängig davon, ob er im Flachland im Mittelgebirge oder im Hochgebirge liegt.

⁴ Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH) Heinz Joachim Rehbein, Stadtplaner, Beratender Ingenieur, Auktor Ingenieur GmbH, Berliner Platz 9, D-97080 Würzburg

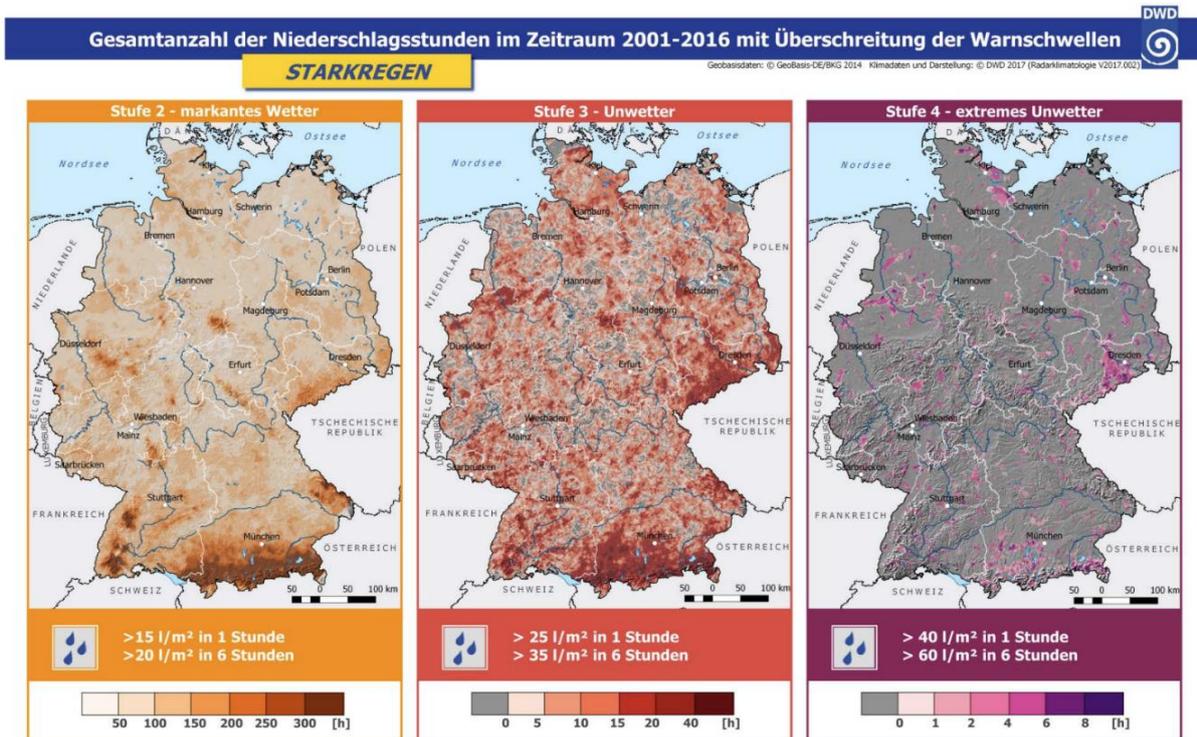


Abb. 1 Gesamtanzahl der Stunden, in denen die Warnschwellen des Deutschen Wetterdienstes für Starkregen im Zeitraum 2001 bis 2016 überschritten wurden [Quelle: Deutscher Wetterdienst]

Einen Beleg hierfür bildeten zwei Katastrophenregenereignisse innerhalb einer Woche am 15. und 21. 07. 2021 in Reichenberg, einer Gemeinde wenige Kilometer südlich von Würzburg.



Abb. 2 Hochwasser in Reichenberg im Juli 2021 [Quelle: Stefan Hemmerich]

Derartige Katastrophenregen können nicht verhindert werden. Die Verringerung des Oberflächenabflusses kann jedoch wesentlich dazu beitragen, die Folgen zu verringern.

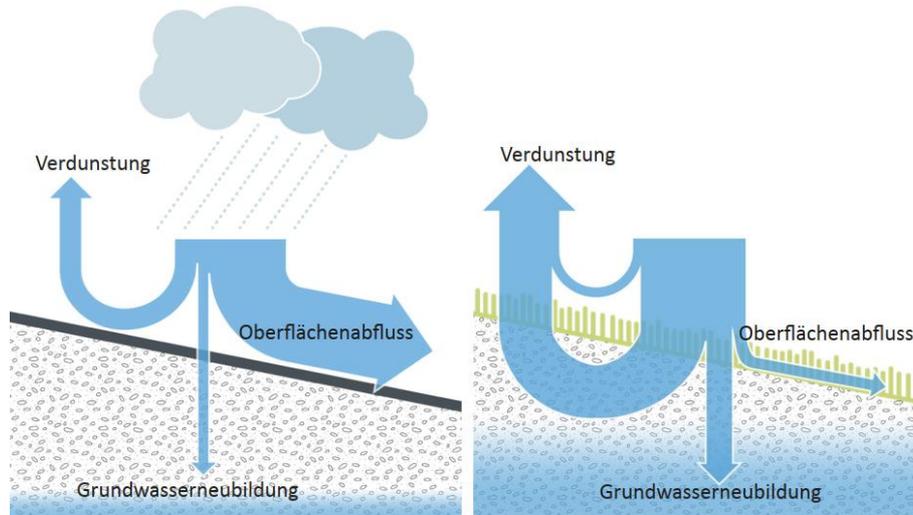


Abb. 3 Wege des Niederschlags auf befestigtem Untergrund (links) und auf natürlich gewachsenem Boden (rechts) [Quelle: Wassersensible Siedlungsentwicklung; Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) (Hrsg.); München, 29. 10. 2020]

Weitere Folgen des Klimawandels sind höhere Temperaturen und unterbrechungsfreie Hitzeperioden im Sommer. Auch hierfür müssen prophylaktische Vorkehrungen getroffen werden. Regenwasserverdunstung kann in urbanen Gebieten die Lufttemperatur senken, zurückgehaltenes und gespeichertes Regenwasser kann während Hitzeperioden ohne Niederschlag den Pflanzen zur Verfügung stehen. Das Konzept der klimaresilienten Schwammstadt (englisch: sponge city) beinhaltet mehrere Elemente (vgl. Abb. 4). Diese führen in Kombination zu einer nachhaltigen, ökologischen und ökonomischen Aufwertung des Stadtklimas.



→ Abb. 5 Elemente der Schwammstadt

- | | | | |
|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|
| 1 Wasserdurchlässige Beläge | 4 Feuchtbiotop | 7 Notabflussweg | 10 Gründach |
| 2 Versickerungsmulden | 5 Unterirdische Zisternen | 8 Rückhalt von Starkregen | 11 Tiefbeet |
| 3 Kühlung durch Verdunstung | 6 Bewässerung von Bäumen | 9 Fassadenbegrünung | 12 Baumrigole |

Abb. 4 Elemente der Schwammstadt [Quelle: Wassersensible Siedlungsentwicklung; Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) (Hrsg.); München, 29. 10. 2020]

Mit dem Schwammstadtkonzept soll zusammenfassend erreicht werden:

- Verringerung des Wasserabflusses, Entlastung der Kanalisation;
- Vermeidung oder mindestens Verringerung von Hochwasserereignissen;
- adiabate Kühlung, Vermeidung von Hitzeinseln;
- Vermeidung von Trockenheit und Dürre;
- Aufwertung des städtebaulichen Gesamtbildes, Erhöhung der Lebensqualität;
- Erhalt oder Erhöhung von Artenvielfalt und Biodiversität.

Systematik der Studie

Die Studie soll aufzeigen, welche Maßnahmen eines klimaresilienten Schwammstadtkonzepts in Kürnach umsetzbar sind. Da das Prinzip Schwammstadt bei Neubauten in der Infrastruktur der Gemeinde ohnehin angewendet wird, werden mit der Studie lediglich mögliche Umbaumaßnahmen dargestellt. Aus wirtschaftlicher Sicht grundsätzlich machbar werden alle Maßnahmen angenommen, deren baulicher Aufwand sich auf Flächenentsiegelungen (z. B. Asphaltaufbruch) oder Oberflächenmodellierung (z. B. Versickerungsmulden) beschränkt. Unterirdische Um- oder Einbauten wie z. B. Baumrigolen oder unterirdische Zisternen sollen nicht Bestandteil dieser Studie sein.



Abb. 5 Straße in einem Wohngebiet aus den 70er Jahren mit einer Breite von 12 m [Quelle: Auktor Ingenieur GmbH]

Zur Feststellung potenzieller Flächenentsiegelungen wird der gesamte Ort begangen. Verkehrswege werden untersucht hinsichtlich vorhandener Wegbreiten (vgl. Abb. 5) und nach heutigen Gesichtspunkten erforderlichen Wegbreiten (vgl. Abb. 6).



Abb. 6 Nach dem Konzept der Schwammstadt hergestellte Straße in einem Wohngebiet [Quelle: Auktor Ingenieur GmbH]

Quer- und Längsneigungen wirken sich darauf aus, ob die potenzielle Entsiegelungsfläche lediglich ihren unmittelbaren Niederschlag aufnimmt oder durch Zufluss aus benachbarten Verkehrsflächen die „entsiegelte“ Fläche vergrößert werden kann (z. B. vgl. *Abb. 7*).



Abb. 7 Hochbordstein mit Entwässerungslücken [Quelle: <https://www.lithon.de/stadt-verkehr-industrie/produkte/bordsteine-leitsysteme/hochbordsteine>; abgerufen am 11. 05. 2023 um 13.45 Uhr]

Öffentliche Pkw-Parkplätze bieten sich aufgrund ihres niedrigen Verkehrsaufkommens ebenfalls für eine Entsiegelung an.



Abb. 8 Entsiegelte Pkw-Stellplätze im Ortszentrum von Kürnach [Quelle: Auktor Ingenieur GmbH]

Vorhandene öffentliche Grünflächen (Parks, Spielplätze) werden überprüft, ob sie neben ihrer ursprünglichen Funktion durch Geländeabsenkung (Ausbildung von Mulden) zusätzlich umfunktioniert werden können zu Regenrückhalteräumen. Für Dachflächen öffentlicher Gebäude werden Optionen der Dachbegrünung aufgezeigt. Für alle gefundenen und empfohlenen Einzelmaßnahmen werden die Wirksamkeit (entsiegelte Fläche) ermittelt und die Umbaukosten geschätzt.

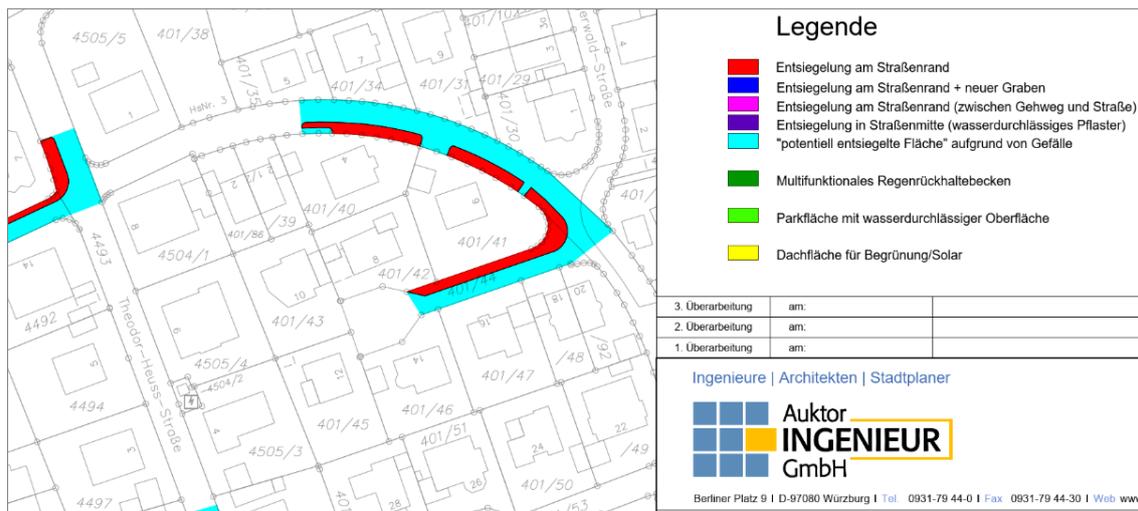


Abb. 9 Ausschnitt aus einem Lageplan mit eingezeichneten Maßnahmen [Quelle: Auktor Ingenieur GmbH]

Von den 91 gefundenen Einzelmaßnahmen sind in der folgenden tab. 1 die 12 wirksamsten Maßnahmen zusammengefasst:

Tab. 1 Übersicht über die 12 wirksamsten Umbaumaßnahmen; Quelle: Auktor Ingenieur GmbH

Rang	Straße	Maßnahme	Fläche [m ²]	Kosten [€]
1	Am Trieb	Entsiegelung Verkehrsweg und Parkplatz (Rasengitterpflaster)	1.237	347.000
2	Heilige Wiese	Dachbegrünung (extensiv)	932	38.000
3	Am Hohen Höllberg	Dachbegrünung (extensiv)	775	31.000
4	Poststraße	Entsiegelung + Mulde	408	72.000
5	Flurstraße	Entsiegelung + Begrünung	391	45.000
6	Rottendorfer Weg	Entsiegelung + Begrünung	306	35.000
7	Am Trieb	Entsiegelung + Begrünung	288	33.000
8	Rottendorfer Weg	Entsiegelung + Begrünung	276	32.000
9	Am Trieb	Entsiegelung + Begrünung	271	31.000
10	Am Güßgraben	Entsiegelung + Mulde	257	45.000
11	Am Seelein	Entsiegelung + Begrünung	251	29.000
12	Schwarze Äcker	multifunktionale Fläche	234	22.000
Σ			5.626	760.000

Fazit

Mit der Studie für das klimaresiliente Schwammstadtkonzept sind innerhalb der Siedlungsfläche von Kürnach:

- 22.719 m² Verkehrsflächen;
- 1.559 m² Pkw-Parkflächen;
- 1.707 m² Dachflächen;
- 234 m² multifunktionale Flächen.

Also insgesamt über 26.000 m² Flächen gefunden worden, deren Niederschläge nicht mehr abgeleitet werden, sondern dem natürlichen Wasserkreislauf wieder zugeführt werden können. Diese Flächen entsprechen etwa 1 % der gesamten Siedlungsfläche von Kürnach. Würde man für die neu gewonnenen entsiegelten Flächen einen Abflussbeiwert von 0,3 annehmen, entspräche das bei einem mittleren Jahresniederschlag von 757 mm einer versickerten Wassermenge von rund 13.800 m³. Da die entsiegelten Flächen jedoch auch in erheblichem Anteil Regenwasser zurückhalten, um es der Verdunstung bereitzustellen, ist die Gesamt-Wassermenge, die nicht abfließt, deutlich höher.

AUSWIRKUNGEN DES BAUS DER GEPLANTEN UNTERIRDISCHEN TEN-T-EISENBAHN IN BRATISLAVA AUF DIE GRUNDWASSERSTRÖMUNG

Andrej Šoltész – Dana Baroková⁵

D

Um die Verkehrsinfrastruktur der Stadt Bratislava zu verbessern, soll der Flughafen mit dem Eisenbahnnetz verbunden werden. Die Eisenbahnverbindungsstrecke wird teilweise entlang der Kleinen Karpaten in einem Untergrundtunnel geplant, wobei dieser durch Ausgrabung von oben unter dem Schutz von Rüstungs- und Abdichtungswänden errichtet werden soll. Da die undurchlässige unterirdische Tunnelwand den Grundwasserstand und volumenfluss beeinflusst, wurde anlässlich der Umweltverträglichkeitsprüfung die Grundwasserströmung mithilfe eines auf der Finite-Elemente-Methode basierenden quasi-dreidimensionalen Modells simuliert. Das Referat behandelt die Ergebnisse der Analyse, Prognosen und ebenfalls Möglichkeiten der Grundwasserregulierung nach der Herstellung der Eisenbahnverbindung.

EN

In order to improve the transport infrastructure in Bratislava region the connection between the airport and railway network is planned. One part of it should be built in the underground tunnel along the Carpathian Mountains and it will affect the groundwater flow regime. This was the reason for establishing a 3-D finite element numerical model for evaluating the impact of the railway tunnel on the groundwater level regime as well as for introduction of technical measures to neglect the impacts. Such a model was elaborated and the results have shown the analysis, prognosis as well as possibilities of control of the groundwater regime in the aquifer affected by a railway tunnel construction.

Einführung

Um die Verkehrsinfrastruktur der Stadt Bratislava als eines Bestandteils des TEN-T-Eisenbahnnetzes zu verbessern, soll der Flughafen an das Eisenbahnnetz in Bratislava angebunden werden. Im Streckenabschnitt Bratislava Predmestie – Bratislava Filiálka und anschließend mit dem Bahnhof Bratislava Petržalka wird das Niveau der Strecke allmählich unter das bestehende Gelände sinken und ein Teil der Eisenbahnstrecke soll in einem unterirdischen Tunnel verlaufen, wobei dieser durch Ausgrabung von oben unter dem Schutz von Rüstungs- und Abdichtungswänden errichtet werden soll. Vom Bahnhof Filiálka wird ein Tunnelbau (Vortrieb) der Strecke geplant; die Bahnstrecke soll unter dem Donauebett verlaufen und auf der Petržalka-Seite wieder ebenerdig an das bestehende Bahnnetz angeschlossen werden.

Da der genannte Abschnitt der zu bauenden Strecke überwiegend in der grundwasserführenden Schicht geführt wird, war es notwendig, ein numerisches Modell der Grundwasserströmung zu erstellen, das die Auswirkungen des Baus des geplanten Eisenbahntunnels auf die Entwicklung der Grundwasserstände im betreffenden Gebiet möglichst zuverlässig bestimmen würde. In der ersten (wichtigsten) Lösungsstufe bestand unsere Aufgabe im Entwurf der durch Ausgrabung von oben zu errichtenden Tunnelstrecke im Streckenabschnitt vom Bahnhof Bratislava Predmestie bis zum Bahnhof Bratislava Filiálka (Abschnitt 1 in der *Abb. 1* [6]). Bei Bedarf hätten wir technische Maßnahmen vorschlagen sollen, die die negativen Auswirkungen der geplanten Baumaßnahme minimieren würden (schematische Schnittzeichnung s. *Abb. 2* [2]), und nicht zuletzt sollten die Auswirkungen dieser Gegenmaßnahmen auf die Grundwasserstände und -fließrichtung beurteilt werden.

⁵ prof. Ing. Andrej Šoltész, PhD., doc. Ing. Dana Baroková, PhD., Slowakische Technische Universität Bratislava, Baufakultät, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

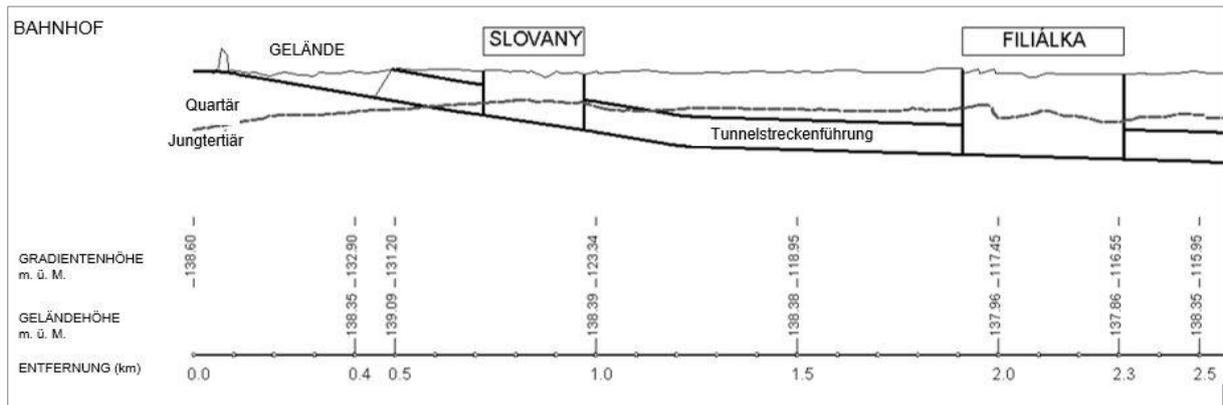
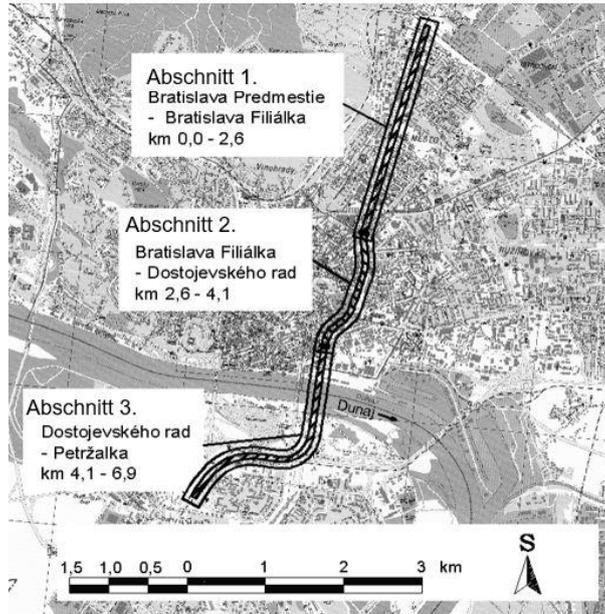


Abb. 1 Lageplan des Interessengebiets in Bratislava und Längsprofil mit markierten Abschnitten des TEN-T-Eisenbahnkorridors

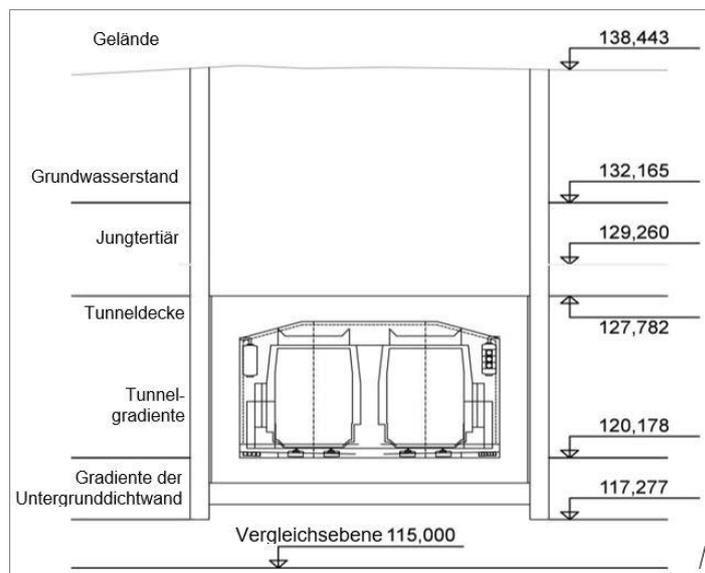


Abb. 2 Schematische Schnittzeichnung der Eisenbahnstrecke

Analyse des Ist-Zustands – Kalibrierung des mathematischen Modells

Die aus verfügbaren archivierten geologischen Unterlagen [10] gewonnenen Ergebnisse der durchgeführten ingenieurgeologischen Erkundung, ergänzt durch Erkenntnisse aus der Bohrprobe und Geländeerkundung für das TEN-T-Projekt, ferner Unterlagen vom Slowakischen Hydrometeorologischen Institut (SHMÚ) [4], Archivwerk vom Staatlichen Geologischen Dionýz- Štúr-Institut (ŠGÚDŠ) [1] und von Dopravoprojekt Bratislava a. s. [2] – alle genannten Unterlagen wurden verarbeitet und bei der Digitalisierung des Filtrationskoeffizienten, bei der Bestimmung der Geländemorphologie-Karte (Höhenlinienkarte), Ermittlung der Schnittstelle von Deckschichten, von Quartär und Jungtertiär, Ermittlung von Dicken der Deckschichten und der wasserführenden Schicht sowie bei der Ermittlung der Quartärbasis angewendet.

Gegenstand der Untersuchung war der Zeitraum nach der Fertigstellung der Stauanlage Gabčíkovo, weshalb wir unsere Aufmerksamkeit bei der Verarbeitung von meteorologischen Daten auf den Zeitraum ab Beginn des hydrologischen Jahres 1993 gerichtet haben. Wir haben das Modell kalibriert sowohl für den langjährigen Mittelwert 1993 – 2006 als auch für die maximalen Grundwasserstände, die im April 2006 in der Region aufgetreten waren. Der Grundwasserhaushalt in der Region ist ausgeglichen, daher ist der Unterschied zwischen dem durchschnittlichen und maximalen Grundwasserstand gering, dennoch wurde die Simulation für die beiden Situationen durchgeführt.

Auch der Wert des sog. effektiven Niederschlags, der als Differenz zwischen der Niederschlagsmenge und der tatsächlichen Evapotranspiration im Gebiet ermittelt wurde [3], [9], geht ins Modell ein. Vom Slowakischen Hydrometeorologischen Institut standen uns Wasserstände der Donau und des Bachs Račianský potok zur Verfügung. Ähnlich haben wir vom Slowakischen Hydrometeorologischen Institut auch durchschnittliche Monatswerte erhalten, und anhand dieser Werte sowohl für den langjährigen Durchschnitt 1993–2006 als auch für April 2006 ermittelt.

Zur Simulation der Grundwasserströmung haben wir die Simulationssoftware TRIWACO [5] angewendet. TRIWACO ist ein auf der Finite-Elemente-Methode basierendes Softwaresystem zur quasi-dreidimensionalen Modellierung stationärer und instationärer Grundwasserströmung. Bei der eigentlichen Modellierung der unterirdischen Dichtwand wurden die Elemente schrittweise verkleinert, um das Gepräge der Wand bestmöglich zu treffen. Das Rechenetz besteht aus Elementen mit einer Größe von 2 bis 150 m.

Die Modellkalibrierung bestand in der Einstellung von hydraulischen und hydrogeologischen Parametern des Gesteinskörpers. Dies waren die Werte des Filtrationskoeffizienten, des Entwässerungs- und Durchdringungswiderstands der Gewässersohlen und Zufluss von den Hängen der Kleinen Karpaten im Westen und Nordwesten des Gebiets. Die Differenzen zwischen den gemessenen und berechneten Werten des Grundwasserstands in der Nähe des Untersuchungsgebiets betragen nicht mehr als 0,50 m. Wir behaupten nicht, dass diese Differenzen vernachlässigbar sind, glauben jedoch, dass die Werte auch unter Berücksichtigung der Varianz zwischen dem maximalen und dem minimalen Grundwasserstand akzeptabel sind. Im nächsten Schritt der Berechnung haben wir die Tiefe des Grundwasserspiegels unter der Geländeoberfläche ermittelt; im Bereich der künftigen Dichtwand der Baugrube liegt diese meistens zwischen 5 und 7 m.

Auf die Fließrichtung des Grundwassers und die Neigung des Grundwasserspiegels wirkt sich die Neigung des Geländes und des undurchlässigen Untergrunds aus. Anhand des Modells wurde die Richtung des Grundwasserflusses von Kleinen Karpaten nach Südosten festgestellt. Diese ist in der *Abb. 3* dargestellt [7].

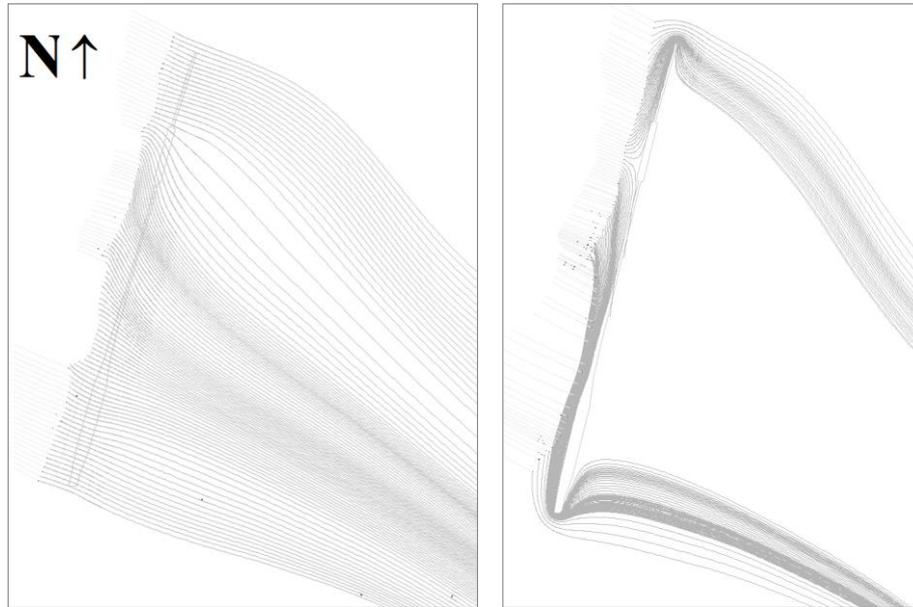


Abb. 3 Detail der modellierten Grundwasser-fließrichtung – aktueller Stand (SÖ) (links); Prognose mit Untergrundwand (rechts)

Prognose der Entwicklung des Grundwasserstands nach der Errichtung der Baugrube

Nach der Kalibrierung und Verifizierung des Modells konnte man mit der nächsten Simulation fortfahren. Im gegebenen Gebiet soll eine abgedichtete Baugrube mit einer Länge von ca. 2 km und einer Breite von 12–60 m errichtet werden – es war also erforderlich, eine weitere Variante des Modells zur Simulation der Baugrube zu entwerfen. Da das TRIWACO-Modell den Grundwasserfluss durch ein poröses Medium behandelt, haben wir die Baugrube als Bereich mit einem sehr kleinen Filtrationskoeffizienten – in der Größenordnung von Hundertstel bis Tausendstel m/Tag – konzipiert [7], [8].

Die Simulation ergibt, dass es nach dem Bau der Baugrube aufgrund von Aufstauung zu einer Umströmung der undurchlässigen Baugrube kommt (Abb. 3). Anhand des Modells wurde festgestellt, dass der durch den Bau der Eisenbahnstrecke verursachte Aufstau westlich der Baugrube bis zu 2,4 m und die Senkung östlich der Baugrube bis zu 0,60 m betragen (Abb. 4).

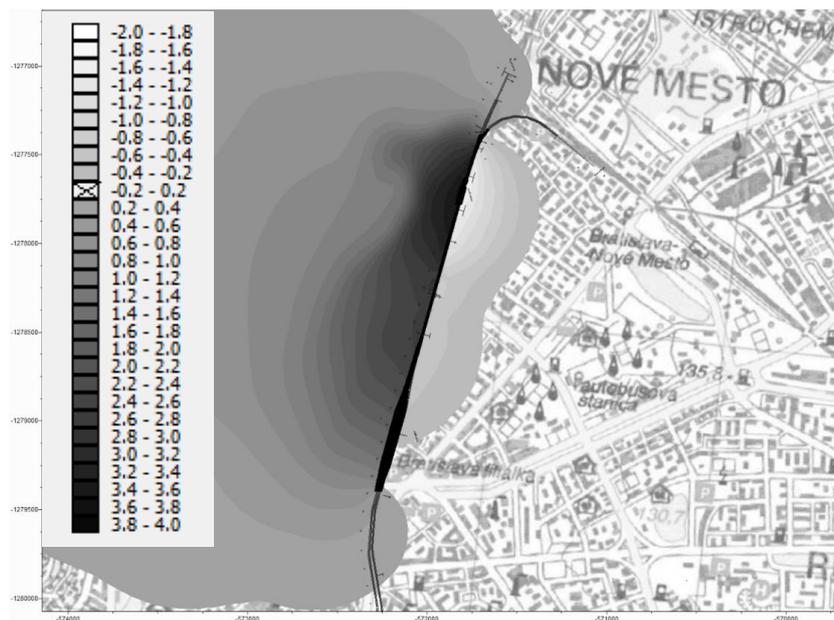


Abb. 4 Erwartete Veränderungen der Grundwasserstände im Vergleich zur Gegenwart

Bei der Modellierung der Grundwasserströmung war eine schrittweise Verfeinerung des Rechnetzes der finiten Elemente in Richtung der undurchlässigen Wand entlang der Baugrube erforderlich. Dies ist in der *Abb. 5* dargestellt.

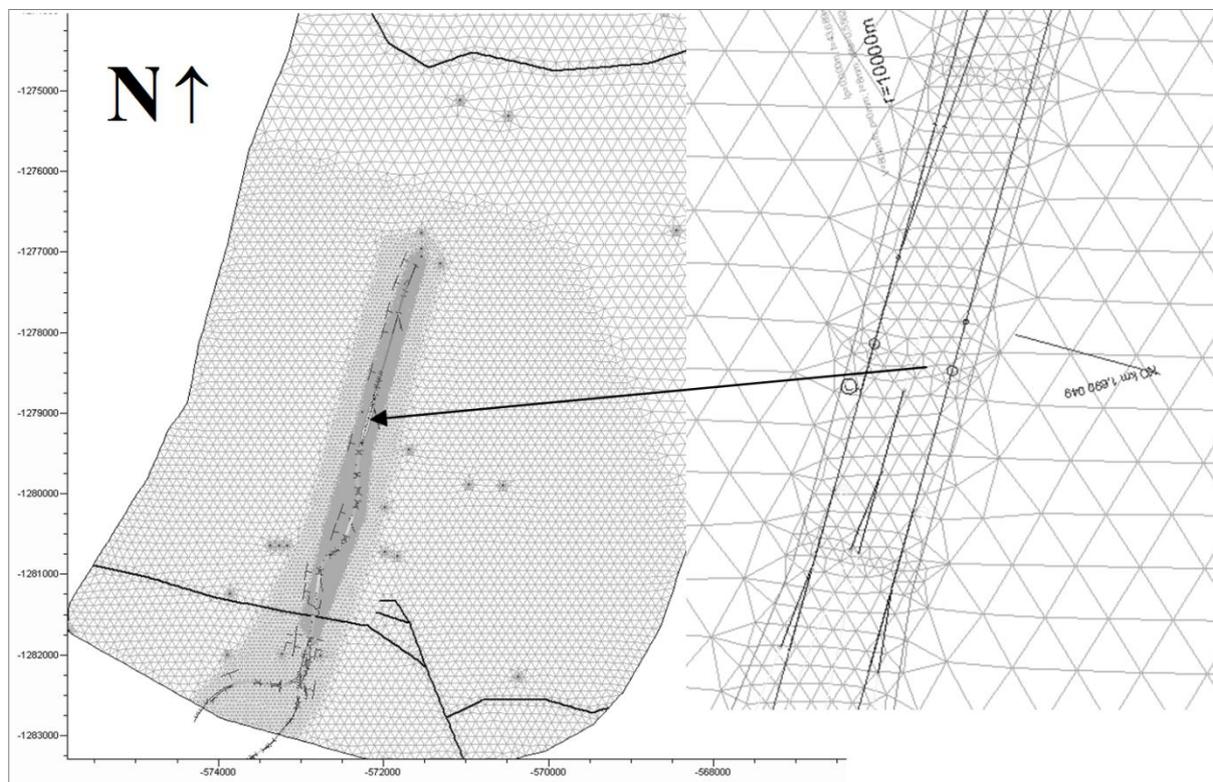


Abb. 6 Darstellung der schrittweisen Verfeinerung des Rechnetzes finiter Elemente [7]

Vorgeschlagene Regulierungsmaßnahmen

Nach der Simulation der Untergrunddichtwand und deren Auswirkungen auf den Grundwasserstand wurden mehrere Lösungsalternativen vorgeschlagen, um die negativen Auswirkungen der Baumaßnahme zu mildern. Mit dem Modell sollte eine Lösung entworfen werden, bei der der Grundwasserspiegel sich mindestens 2 m unter der Geländeoberfläche befindet.

Eine der vorgeschlagenen Alternativen war die Wasserumlenkung durch Korridore (Löcher mit einem Durchmesser von 2 m) über die Bauanlage. Die „Löcher“ in den Wänden der Baugrube (im Folgenden Löcher genannt) wurden in Bereichen modelliert, wo es machbar wäre. Die Löcher sollten außerhalb der geplanten Bahnhofsbereiche liegen, da die Umsetzung der Löcher an diesen Standorten kompliziert sein könnte. Die Lösung einer der Alternativen bestand daher aus zwei Varianten [7], [8]:

- 5 Löcher im Abstand von 180 m;
- 9 Löcher im Abstand von 100 m.

Es wurden auch andere Alternativen für die Wasserumlenkung vom Nordwesten zur südöstlichen Seite der Untergrunddichtwand in Betracht gezogen. Der Vorschlag, Grundwasser unter die Bauanlage zu führen, wurde gleich zu Beginn des Entscheidungsprozesses abgelehnt. Ebenso wurde die Möglichkeit, die Saugheberfunktion zu nutzen, vom Tisch gefegt, da die Höhenlage der Eisenbahntunneldecke eine automatische Funktion nicht zulässt.

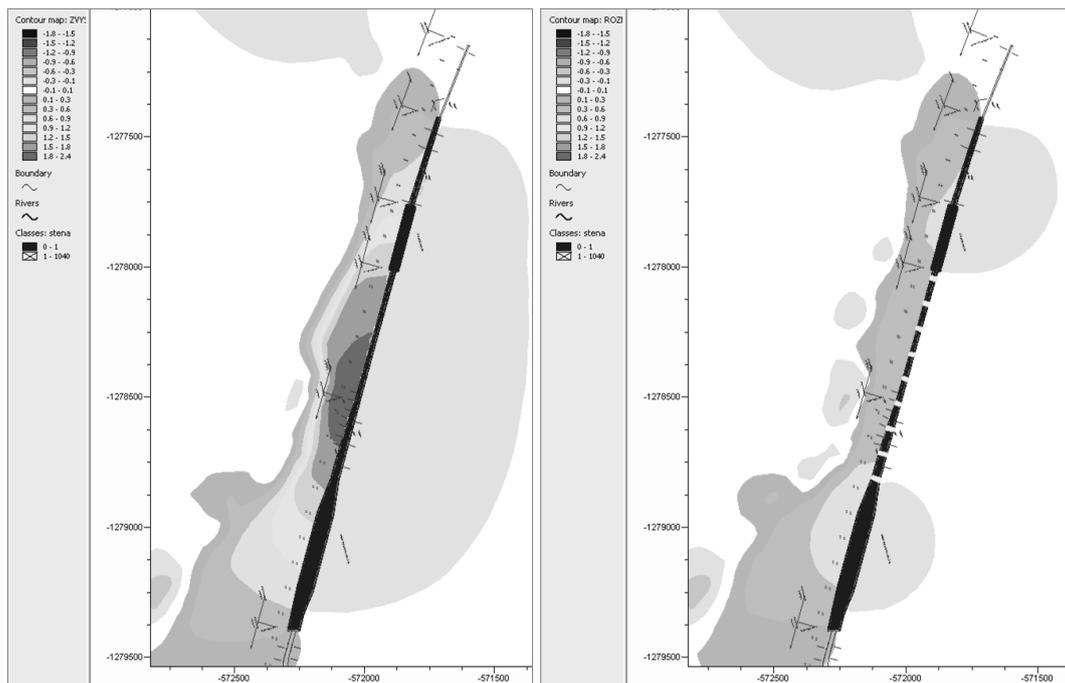


Abb. 6 Geschätzter Anstieg des Grundwasserspiegels gegenüber dem heutigen Stand (m) bei Annahme der Errichtung einer Untergrundwand (links) und bei Annahme Ausführung von Löchern in der Wand (rechts)

Fazit

Die Lösung hat gezeigt, dass der Grundwasserspiegel nördlich des Eisenbahnkorridors nach dem Bau des Tunnels um 1,5 - 2,4 m ansteigt. Diese Aufstauung kann durch Ausführung von "Löchern" in der Dichtwand vermieden werden, wobei diese an Stellen ausgeführt werden sollen, an denen es machbar ist bzw. modelliert wurde [8]. Wir haben zwei Varianten dieser Lösung modelliert, nämlich 5 Löcher im Abstand von 180 m und 9 Löcher im Abstand von 100 m (Abb. 7). Die Absenkung des Grundwasserstands mittels 9 Löcher ist im Vergleich zu 5 Löchern nicht signifikant, mehr Löcher kommen jedoch der Sicherheit zugute. Die Modellierungsergebnisse haben gezeigt, dass der Grundwasserspiegel durch diese Maßnahme um 1,3 - 1,6 m gegenüber der Dichtwandvariante abgesenkt werden könnte und dass der Anstieg des Grundwasserspiegels nach der Umsetzung dieser Maßnahmen im Vergleich zur Gegenwart nur 0,4 - 0,7 m betragen würde (d.h. der Grundwasserspiegel würde sich 5,7 – 6 m unter der Geländeoberfläche befinden), was unserer Meinung nach akzeptabel ist.

Danksagung

Der Artikel entstand mit Unterstützung des Projekts VEGA 1/0728/21 Analyse und Prognose der Auswirkungen von Baumaßnahmen auf das Grundwasser am Lehrstuhl für Wasserbautechnik der Bau fakultät an der Slowakischen TU in Bratislava und des Projekts APVV-19-0383 Natürliche und technische Maßnahmen zur Wasser-rückhaltung in Flussgebieten der slowakischen Vorgebirge.

Literaturnachweis

- [1] Archivwerk der Geofond-Sektion von ŠGÚDŠ Bratislava.
- [2] Longa, J, Kačo, I., Martinková, D., Knažická, M., Marko, J., Némethyová, S., Barbušová, E., Machlica, J., Hamza (2007b): Štúdiá prepojenia železničného koridoru TEN–T s letiskom a železničnou sieťou v Bratislave, ŽSR, Bratislava – Železničné zapojenie Letiska M. R. Štefánika, 3. etapa (Studie, Dopravoprojekt, a. s., Bratislava, 2007, 65 s.
- [3] Malík, P. (2007): Stanovenie okrajových podmienok modelového územia pre projekt TEN-T Bratislava. Manuskript – Daten im shp- und xls-Format, Štátny geologický ústav Dionýza Štúra, Bratislava.
- [4] Unterlagen von SHMÚ, VÚVH, Dopravoprojekt Bratislava.

- [5] Royal Haskoning (2004): Triwaco groundwater modelling software, Triwaco User's Manual, Haskoning Netherlands BV, Netherlands 2004, s. 322.
- [6] Škvarka, J. – Kupka, Š. – Takáčová, M. – Šíkula, G. (2007): Štúdia prepojenia železničného koridoru TEN-T s letiskom a železničnou sieťou v Bratislave, Záverečná správa z orientačného inžiniersko-geologického prieskumu, EKOGEOS Zakladanie spol. s r. o., Bratislava, 129 s.
- [7] Šoltész, A. – Baroková, D. (2007): Modelové riešenie vplyvu trasy prepojenia železničného koridoru TEN-T na prúdenie a režim podzemných vôd v úseku žel. st. Bratislava Predmestie – žel. st. Bratislava Filiálka, Záverečná správa pre „Štúdiu prepojenia železničného koridoru TEN-T s letiskom a železničnou sieťou v Bratislave“, KHTE SvF STU, Bratislava, 65 s.
- [8] Šoltész, A., Baroková, D. (2008): Modelové riešenie vplyvu trasy železničného koridoru TEN–T na režim prúdenia podzemných vôd v úseku Dunaj – súbeh so železničnou traťou Petržalka. Čiastkové riešenie pre "Štúdiu prepojenia železničného koridoru TEN–T s letiskom a železničnou sieťou v Bratislave". Bratislava, SvFSTU v Bratislave, 2008, 54 s.
- [9] Švasta, J. – Malík, P. (2006): Priestorové rozloženie priemerných efektívnych zrážok na území Slovenska. Podzemná voda XII. /2006 č. 1, Slovenská asociácia hydrogeológov, ISSN 1335-1052, Bratislava, str. 12–20.

INNERSTÄDTISCHE KLIMAINSELN ALS ZENTRALES ELEMENT EINER NACHHALTIGEN KLIMAWANDELANPASSUNG

Michael Probst⁶

D

Der Klimawandelanpassung ist die große Aufgabe der Gestaltung der Infrastruktur der Zukunft. Gerade in unseren Innenstädten wirkt sich die flächige Versiegelung nachteilig, z.B. durch Überhitzung und Überflutung bei Starkregenereignisse, auf die Lebensqualität aus.

Um die Lebensqualität in den Innenstädten zu erhalten, muss der urbane Wasserhaushalt neu gedacht werden. Grundsätzliches Ziel ist die Wiederherstellung einer möglichst natürlichen Verteilung auf die Komponenten Oberflächenabfluss, Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung.

Der Gedanke der Schwammstadt ist keinesfalls neu, in der Praxis fehlt aber oft eine gesamtheitliche Zieldefinition. Verschiedene Akteure wie z.B. die Grünflächenämter oder die Stadtentwässerungsbetriebe fokussieren bei der Gestaltung der grün-blauen Infrastruktur auf die jeweils vertretenen Aufgaben, also z.B. die Optimierung der Standortverhältnisse von Straßenbäumen oder die regelwerkskonforme Dimensionierung von Entwässerungsanlagen. Damit werden zwar einzelne Aspekte gelöst, aber die Potenziale einer gesamtheitlich gedachten grün-blauen Infrastruktur nicht optimal genutzt.

Die Optimierung der Grünanlagen hinsichtlich einer effektiven Speicherung der Niederschläge und ihrer Verdunstungs- und Kühlwirkung unter Berücksichtigung der Anforderungen der Vegetation kann sowohl unter Beibehalt der bisherigen Gestaltung der Grünanlagen in Baumarten und Anordnung oder durch ein völliges Umdenken der Gestaltung von Grünanlagen als Klimainseln erreicht werden.

Der Vortrag fokussiert dabei auf den Gedanken der Klimainseln, die mit einem Minimum an Technik eine maximale Wirkung auf die o.g. Ziele entfalten, Aufenthaltsqualität für den Menschen bieten und gleichzeitig Hotspots der Biodiversität darstellen können. Trotz dieser Vorteile scheitert ihre Realisierung oft an dem sektoralen Denken der zuständigen Akteure.

1 Einführung

Die Klimawandelanpassung ist die Zukunftsaufgabe bei der Gestaltung der urbanen Infrastruktur. Gerade in unseren Innenstädten wirkt sich die flächige Versiegelung nachteilig auf die Lebensqualität aus. Wesentliche Aspekte sind dabei die Überhitzung und die drastische Änderung des Wasserhaushaltes hin zu höheren Oberflächenabflüssen, insbesondere auch bei Starkregenereignissen. Um die Lebensqualität in den Innenstädten zu erhalten, muss der urbane Wasserhaushalt neu gedacht werden. Grundsätzliches Ziel ist die Wiederherstellung einer möglichst natürlichen Aufteilung der drei Komponenten Oberflächenabfluss, Bodenwasserhaushalt bzw. Grundwasserneubildung und Verdunstung. Dieses Ziel wurde in Deutschland im Jahr 2022 als neues technisches Regelwerk eingeführt (DWA-M 102-4 im Kontext des DWA-A 102).

Der Gedanke der Schwammstadt ist dabei nicht neu, in der Praxis fehlt oft eine gesamtheitliche Zieldefinition. Verschiedene Akteure wie z.B. Grünflächenämter oder Stadtentwässerungsbetriebe fokussieren bei der Gestaltung der grün-blauen Infrastruktur stark auf die jeweils vertretenen Aufgaben und Regelwerke. Damit werden zwar einzelne Aspekte gelöst, aber die Potenziale einer gesamtheitlich gedachten grün-blauen Infrastruktur nicht optimal genutzt.

Die Optimierung der Grünanlagen hinsichtlich einer effektiven Speicherung der Niederschläge und der Nutzung ihrer Verdunstungs- und Kühlwirkung unter Berücksichtigung der Anforderungen der Vegetation kann dabei sowohl unter Beibehalt der bisherigen Gestaltungsgrundsätze (typische Stadtbaumarten als Einzelbäume in Pflanzgruben oder Baumrigolen) als auch durch ein völliges Umdenken bei der Gestaltung von Grünanlagen als Klimainseln erreicht werden.

⁶ Dr.-Ing. Michael Probst, Björnsen Beratende Ingenieure GmbH, Niederlassung Speyer Diakonissenstrasse 29, 67346 Speyer

Der vorliegende Beitrag fokussiert dabei auf den Gedanken der Klimainseln, die eine maximale Wirkung auf die o.g. Ziele entfalten, Aufenthaltsqualität für den Menschen bieten und gleichzeitig als Hotspots der Biodiversität in Überlegungen zur Biotopvernetzung integrierbar sind.

2 Wasserhaushalt

2.1 Zieldefinition

Der natürliche Wasserhaushalt in Deutschland sah in der Zeitreihe 1961 bis 1990 im langjährigen Mittel wie folgt aus [2]:

Niederschlag:	rd. 859 mm/a
Verdunstung:	rd. 532 mm/a, entsprechend 62 % des Niederschlages
Oberflächenabfluss:	rd. 192 mm/a, entsprechend 22 % des Niederschlages
Grundwasserneubildung:	rd. 135 mm/a, entsprechend 16 % des Niederschlages

Die Verdunstung ist mit Abstand die wesentlichste Komponente auf der Verlustseite der Wasserbilanz. Zwei Teilkomponenten der Verdunstung sind dabei im Weiteren von besonderer Bedeutung:

- die Interzeption, d.h. Benetzungsverluste an Oberflächen:
rd. 16 % der Verdunstung [3], entsprechend 10% des fallenden Niederschlages;
- die Transpiration der Vegetation, d.h. die eigentliche Verdunstungswirkung der Vegetation
rd. 73 % der Verdunstung [3], entsprechend 45 % des fallenden Niederschlages.

In unseren Innenstädten mit oft nahezu vollständiger Versiegelung sind Transpiration und Grundwasserneubildung drastisch, oftmals bis nahe Null, reduziert. Dementsprechend liegt der Anteil des Oberflächenabflusses dort oft bei über 80 %.

Die fehlende Transpiration bedeutet aber auch, dass die damit verbundene Kühlwirkung entfällt. In der Überlagerung mit der Aufheizung der versiegelten Flächen bilden sich über den Innenstädten die sogenannten Hitzeinseln im Sommer aus (Abb. 1, aus [1]). Deutlich sind die Temperaturunterschiede zwischen Gewässer- und Waldflächen sowie den innerstädtischen, hochversiegelten Bereichen zu erkennen, der Temperaturunterschied beträgt bis zu 15 K.

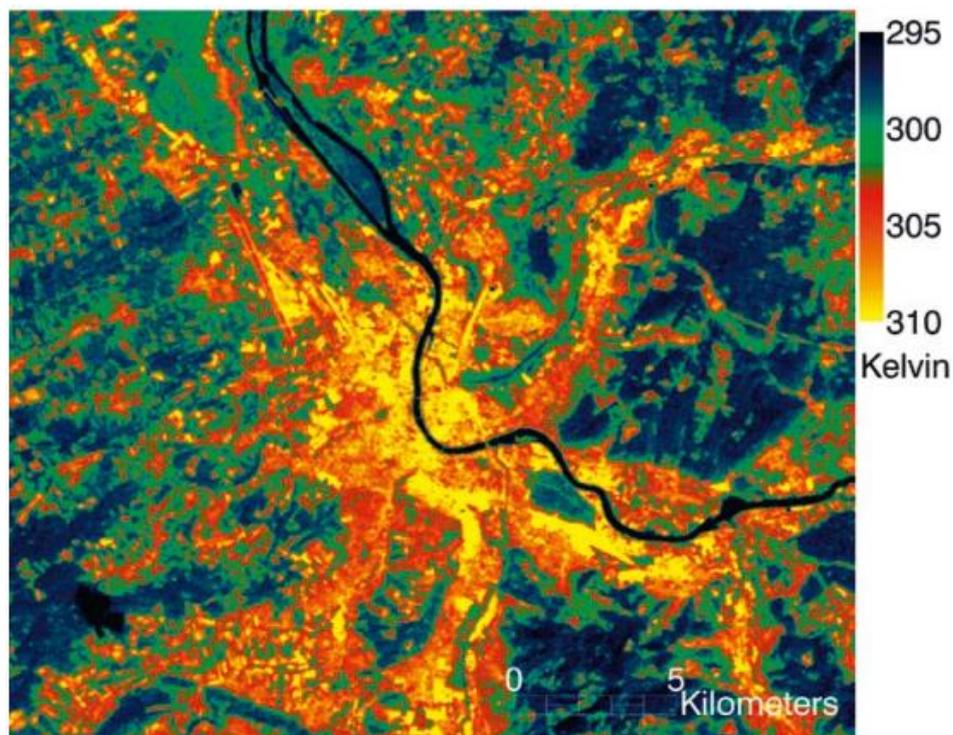


Abb. 1 Innerstädtische Hitzeinsel am Beispiel Basel am 12.08.2000 um 11 Uhr 07, Quelle: [1]

Klimawandelbedingte Änderungen der Niederschlagsverteilungen und der Lufttemperaturen führen tendenziell zu höheren Anteilen von Verdunstung und Oberflächenabfluss, die Grundwasserneubildung nimmt ab. Die Prognose dieser Änderungen und die Bewertung der damit verbundenen umweltrelevanten Auswirkungen sind aufgrund komplexer Abhängigkeiten Gegenstand umfangreicher Untersuchungen. Exemplarisch ist für den süddeutschen Bereich das KLIWA-Projekt zu nennen (www.kliwa.de).

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft gehen weit über die urbanen Probleme hinaus. Abnehmende Wasserführung bei zunehmender Wassertemperatur und höheren Stoffkonzentrationen führen in den Oberflächengewässern zu gewässerökologischen Problemen. Auch der daraus resultierende erforderliche Anpassungsbedarf bei Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung ist weder abschließend beschrieben noch gelöst. Ein ganzheitliches Denken bei der Gestaltung der grün-blauen Infrastruktur bedeutet daher, alle Auswirkungen neuer Systeme mitzudenken. Im Prinzip ist dabei der Grundgedanke, für die durch den Klimawandel veränderten Rahmenbedingungen zumindest Verdunstung und Grundwasserneubildung in den Bereich des bisherigen unbeeinflussten Zustands zu bringen. Damit können negative Veränderungen hinsichtlich der Kühlwirkung und Grundwassersituation im Idealfall auch für die Randbedingungen des Klimawandels ausgeglichen oder zumindest abgemildert werden. Im innerstädtischen Bereich erscheint es dabei am sinnvollsten, den Oberflächenabfluss als Stellgröße für das Erreichen dieser Ziele zu nutzen. Herzstück möglicher Lösungen sind somit Ansätze zur Speicherung und gezielter Verdunstung / Versickerung des Niederschlages. Dabei kann eine definierte Versickerung technisch sehr einfach umgesetzt werden. Die folgenden Überlegungen fokussieren daher auf die Maximierung der Verdunstungswirkung.

2.2 Möglichkeiten zur Verdunstungsmaximierung

In den meisten Siedlungsbereichen liegen die Grundwasserstände soweit unter Gelände, dass ein Kapillaraufstieg aus dem Grundwasserleiter in die durchwurzelte Bodenzone ausgeschlossen oder zumindest vernachlässigt werden kann. Damit ist in den Siedlungsbereichen allein der Bodenwasserhaushalt für die Verdunstung relevant.

Die pflanzenverfügbare Wassermenge im Bodenfeuchtespeicher ist von den anstehenden Böden und der Vegetation / Wurzeltiefe abhängig. Für Grünland und landwirtschaftliche Nutzflächen liegen übliche Wurzeltiefen bei rd. 0,5 m, für Wälder bei bis zu 3 m. Tab. 1 zeigt die in der durchwurzelten Bodenzone pro 10.000 m² Fläche speicherbare Wassermenge exemplarisch für 3 verschiedene Bodentypen mit nutzbaren Feldkapazitäten (n_{FK}) von 100, 150 und 200 mm/m und die Nutzungen Grün-/Ackerland, Wald sowie eine Mischnutzung. Diese geben einen ersten Eindruck über die Wassermenge, die im natürlichen / unbebauten Zustand pro 10.000 m² Fläche im Bodenfeuchtespeicher gespeichert und somit grundsätzlich über die Verdunstung abgegeben werden können. Dabei sind die Wassermengen, die in den Sommermonaten fallen und zu einer zumindest teilweisen Auffüllung des Speichers führen, noch gar nicht berücksichtigt. Da der Anteil der Sommerniederschläge am Jahresniederschlag sehr unterschiedlich ist, kann hierzu keine pauschale Aussage getroffen werden. In der Regel wird allerdings eine Erhöhung um 50 bis 100 % realistisch sein. Demnach können in typischen Kulturlandschaften je nach Landnutzung und Bodenverhältnissen zwischen 1.200 und 3.200 m³ pro 10.000 m² aus dem Bodenfeuchtespeicher verdunsten. Bereits zum aktuellen Zeitpunkt hat der Klimawandel die Dauer der Vegetationsperiode (sog. Phänologie) deutlich verändert, über die längere Vegetationsperiode nimmt auch der Wasserbedarf und damit die verdunstbare Wassermenge und erreichbare Kühlwirkung weiter zu [4].

Tab. 1 Wasservolumen im Bodenfeuchtespeicher für verschiedene Böden und Landnutzungen

Nutzung	Wurzeltiefe in m	nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum in mm/m			Wasservolumen im Bodenfeuchtespeicher in m ³ pro 10.000 m ²		
		nFk 100 mm/m	nFk 150 mm/m	nFk 200 mm/m	nFk 100 mm/m	nFk 150 mm/m	nFk 200 mm/m
Grün-/ Ackerland	0,5	50	75	100	500	750	1.000
Wald	2,5	250	375	500	2.500	3.750	5.000
Mischung 85% Grünland / 15% Wald					800	1.200	1.600
mit Korrektur wegen nicht berücksichtigten Sommerniederschlägen um 50%					1.200	1.800	2.400
mit Korrektur wegen nicht berücksichtigten Sommerniederschlägen um 100%					1.600	2.400	3.200

Aufgrund der Bebauung und damit einhergehenden Nutzungsänderung muss diese Wassermenge daher in einem urbanen Umfeld über eine deutlich verkleinerte verdunstungswirksame Fläche bewirtschaftet / umgesetzt werden.

Aufgrund der aktuellen Energiepolitik sind Dachflächen in Deutschland zunehmend für Photovoltaikanlagen vorgesehen. Gründächer, die auch in längeren Trockenperioden einen nennenswerten Beitrag zur Verdunstung leisten sollen, benötigen hohe Substratstärken und / oder eine intensive Bewässerung. Beides führt zu Zusatzlasten, die sich nachteilig auf die Baukosten auswirken. Alternativ können Wasserspeicher auch auf Geländeneiveau angeordnet werden, womit allerdings entsprechende Energiekosten für die Bewässerung verbunden sind. Gründächer werden daher hier nicht weiter betrachtet, der Fokus liegt, auch bezüglich Fassadenbegrünung, auf bodengebundener Vegetation. Die Option einer Grauwassernutzung zur Bewässerung wird hier ebenfalls nicht weiter betrachtet.

Somit verbleiben im Wesentlichen die Grün- und ggf. Wasserflächen und die Anlagen der Regenwasserbewirtschaftung, um die angestrebte Verdunstungswirkung zu erreichen.

Für die Gestaltung von innerstädtischen Grünflächen ist gemäß der Grobbilanzierung aus Tabelle 1 ersichtlich, dass auf entsprechend speicherfähigen Böden stockende Wälder oder waldartige Strukturen gegenüber Acker- und Grünland etwa die fünffache Wassermenge speichern und umsetzen können. Während die Anlage von Wiesenflächen in der Stadt also keine nennenswerte Erhöhung der Verdunstungswirkung erreicht, können viele Baumstandorte oder kleine Wälder (tiny forests) auf etwa 20 % der Fläche das Ziel einer ausgeglichenen Wasserbilanz im Vergleich zu einer zuvor als Acker- oder Grünland genutzten Fläche auf einer groben Bilanzenebene erreichen. Derartig hohe Flächenanteile von Bäumen bzw. Wäldern werden allerdings selbst bei ambitionierten Siedlungsentwicklungen in der Regel nicht angedacht.

Von daher stellt sich die Frage, wie die Verdunstungswirkung von Baumstandorten weiter optimiert werden kann. Hierfür ist zunächst der Blick auf das natürliche System Boden-Pflanze-Atmosphäre in vereinfachter Form wichtig. In der Regel ist der Bodenfeuchtespeicher am Ende des Winterhalbjahres gefüllt. Mit Beginn der Vegetationsperiode setzt die Transpiration der Vegetation ein. In niederschlagsfreien Zeiten leert die Transpiration den Bodenfeuchtespeicher, im Hochsommer verdunsten so täglich zwischen 6 und 12 l/m² (Grünland bzw. Wald). Setzt man rechnerisch diese Maximalverdunstung (potenzielle Verdunstung) an, so verdunsten Grünflächen das vorhandene pflanzenverfügbare Wasser in ein bis zwei Wochen, bei Wäldern dauert der gleiche Prozess rechnerisch zwischen drei und sechs Wochen. Tatsächlich reagiert die Vegetation auf die allmähliche Leerung des Bodenfeuchtespeichers und reduziert ihre Verdunstungsleistung über ein Schließen der für die Transpiration genutzten Stomata-Öffnungen. Bei reduzierter Füllung des Bodenfeuchtespeichers wird die Verdunstung hierdurch reduziert. Die tatsächliche oder auch aktuelle Verdunstung erreicht dann nicht mehr die Maximalverdunstung / potenzielle Verdunstung. Gemäß [5] erreichen Wälder bei einer aktuellen Bodenfeuchte von rd. 20 % nur noch etwa die halbe potenzielle Verdunstung, bei 35 % sind es noch 75 % der potenziellen Verdunstung und bei 60 % werden noch 90 % der potenziellen Verdunstung erreicht. In den vergangenen Sommern kam es in Deutschland zu extrem langen niederschlagsfreien Perioden, die zu einer vollständigen Entleerung des Bodenfeuchtespeichers auch in jahrhundertalten Baumbeständen geführt haben. Ganz abgesehen von ökologischen und wirtschaftlichen Schäden sowie einer massiven Waldbrandgefahr entfällt auch die dringend benötigte Kühlwirkung. Um die Verdunstungs- und Kühlwirkung der Vegetation zu maximieren, ist es daher wichtig, die Bodenfeuchte der Baumstandorte kontinuierlich über 60% der maximalen Bodenfeuchte zu halten.

Da die Dauer der sommerlichen Trockenperioden zunimmt und Niederschläge oft als Starkregen erfolgen, ist dies nur mit einer angepassten Form von grün-blauer Infrastruktur möglich.

3 Bausteine einer klimaresilienten grün-blauen Infrastruktur

Um das Ziel „Maximierung der Verdunstung und Kühlwirkung der innerstädtischen Grünflächen“ zu erreichen, sind entweder großvolumige Speicher / Zisternen mit einer bedarfsgerechten Bewässerung oder direkt in den Speicherelementen angeordnete Vegetation erforderlich. In der Regel reichen die Sommerniederschläge nicht aus, um eine ausreichende Bewässerung zu gewährleisten. Damit ist eine Zwischenspeicherung zumindest eines Teils der Winterniederschläge erforderlich.

Die in Europa üblichen Stadtbäume vertragen keinen längeren Einstau ihres Wurzelraumes. Auch die Wasserzufuhr über die Baumscheibe wird oft kritisch bewertet, weil durch die mitgeführten Sedimente die Gefahr einer Kolmation / Verschlämmung mit nachteiligen Auswirkungen auf die Belüftung des Wurzelraumes besteht und ferner die Ausbildung eines oberflächennahen Wurzelkörpers gefördert wird. Für die Wasserzufuhr werden daher, z.B. bei den Baumrigolen nach dem Stockholmer Modell, Schachtbauwerke und Wasserverteilschichten vorgesehen. Um einen längeren Einstau des Wurzelraumes zu verhindern, werden unterhalb der üblichen Wurzeltiefe

in der Regel Drainagen angeordnet. Damit ist die Speicherwirkung der Baumrigole allerdings begrenzt auf die Differenz zwischen aktueller und maximaler Bodenfeuchte im Baumsubstrat. Wenn übliche Baumsubstrate mit einem groben Stützkorn zur Verhinderung einer Verdichtung z.B. durch verkehrsinduzierte Erschütterungen durchmischert werden, reduziert sich die Speicherwirkung weiterhin. Damit wird das o.g. Ziel in längeren niederschlagsfreien Zeiten nicht erreicht. Um eine bessere Wasserversorgung zu gewährleisten, werden teilweise unterhalb der Drainageebene oder seitlich zum Baumsubstrat abgedichtete Speicher angeordnet, aus denen der Baumstandort dosiert bewässert wird (z.B. über Kapillarblöcke). Die unterhalb des Baumsubstrates angeordneten Speicher sind dabei aufgrund der erforderlichen Bautiefen teuer. Die seitlich angeordneten Speicher bewirken, sofern sie nicht für die verdunstungsfreie Zeit geleert werden, mit dem Wegfall des Verdunstungsbedarfs im Winterhalbjahr einen Teileinstau des Wurzelraumes mit einer möglichen Schädigung der Baumvitalität. Aus den genannten Gründen erfordern Baumrigolen zum Erreichen der maximalen Verdunstungs- und Kühlwirkung eine bedarfsgerechte Bewässerung aus ausreichend großen Speichern. Damit sind sie grundsätzlich vergleichbar mit klassischen Baumstandorten. Dies hat außerdem den Vorteil, dass der Wasserbedarf entsprechend Verdunstungsanspruch / Baumalter gedeckt werden kann.

Die benötigten Speicher können entweder dezentral entlang der maßgebenden Fließwege oder zentral in den Geländetiefpunkten angeordnet werden. Für die Speicher ergeben sich folgende ergänzenden Anforderungen:

- Die Bauwerke für die Einleitung des Wassers in die Speicher müssen ausreichend leistungsfähig sein, um auch Starkregenereignisse bewirtschaften zu können. Gleichzeitig muss eine Grobfiltration der Regenabflüsse erfolgen, damit keine Abfallstoffe oder Sedimente in die Speichersysteme gelangen und das Wasser für die Bewässerung nutzbar ist. Hierzu bieten sich Versickerungsmulden mit sandig / kiesigen Substraten an, die nur ruderal bewachsen sind, aber eine ausreichende Filtrationsleistung aufweisen. Dieses technische Element ist einfach zu unterhalten und bildet einen Baustein zur Erhöhung der Biodiversität. Die in Deutschland üblichen Versickerungsmulden (Grasmulden mit belebter Oberbodenzone) benötigen für die Starkregenbewirtschaftung zu große Flächen.
- Um eine gute Wasserqualität des gespeicherten Wassers zu erreichen, hat sich eine wiederkehrende Abreinigung durch Filtration z.B. in bepflanzten Bodenfiltern bewährt. Durch das Einmischen von Eisenhydroxid in die Filtersubstrate kann gleichzeitig die Algenbildung in offenen Wasserflächen unterbunden werden, da der für das Pflanzen- und Algenwachstum limitierende Nährstoff Phosphor sorbiert wird. Damit können Speicher sowohl unterirdisch wie auch oberirdisch, dann z.B. als Stillgewässer ausgebildet werden. Die mit Schilf und Röhricht bewachsenen Bodenfilterflächen sind ebenfalls bewässerte Flächen und leisten ähnlich wie die Waldstandorte einen nennenswerten Beitrag zur Verdunstung und Kühlung. Aus umgesetzten Maßnahmen kann eine Verdunstungsleistung von bis zu 12 mm/m²/d belegt werden. Da die Förderhöhen zwischen Speicher und Reinigungselement sehr gering sind, ist hierfür nur ein geringer Energiebedarf erforderlich, der gut über solarbetriebene Anlagen abgedeckt werden kann. Auch dieses technische Element ist daher einfach zu unterhalten (Betriebsverfahren vergleichbarer Anlagen liegen vor) und bildet einen weiteren Baustein zur Erhöhung der Biodiversität.

Um den Investitions- und Betriebsaufwand für die Bewässerungsanlagen zu minimieren und im Idealfall einzusparen, werden Pflanzengesellschaften benötigt, die an einen temporären oder dauerhaften Einstau des Wurzelraumes bis hin zum Überstau gewöhnt sind. Diese können direkt in den Speichern entwickelt werden. Hierzu bieten sich die in Mitteleuropa heimischen Pflanzengesellschaften der Weichholzaunen an. Durch großflächigere Bauweisen sind sie kostengünstiger als eine Vielzahl von einzelnen Baumstandorten mit entsprechend kleinteiliger Bewässerungs- / Abdichtungstechnik. Gleichzeitig können die erforderlichen Anlagen zur Grobfiltration und Reinigung wie auch offene Wasserflächen in diese Klimainseln integriert werden. Neben den Zielen der Maximierung von Verdunstungs- und Kühlwirkung entstehen hierdurch Strukturen, die die Biodiversität erhöhen und Elemente einer Biotopvernetzung im urbanen Raum bilden, aber gleichzeitig attraktive Grünflächen für die Naherholung darstellen. Gleichzeitig kann aus diesen Speichern Beregnungswasser für klassische Baumstandorte entnommen werden.

Abbildung 2 zeigt exemplarisch eine mögliche Gestaltung einer urbanen Klimainsel in Lageplan und Querschnitt. Pro Quadratmeter Fläche kann etwa ein Kubikmeter Wasser gespeichert werden. Unter Berücksichtigung der Grobbilanzen (tab. 1) sind entsprechende Anlagen auf etwa 15 bis 25 % der Gesamtfläche eines Erschließungsvorhabens erforderlich. Hierbei handelt es sich um einen Orientierungswert, der im Einzelfall über eine Wasserhaushaltsbilanz nachzuweisen ist.

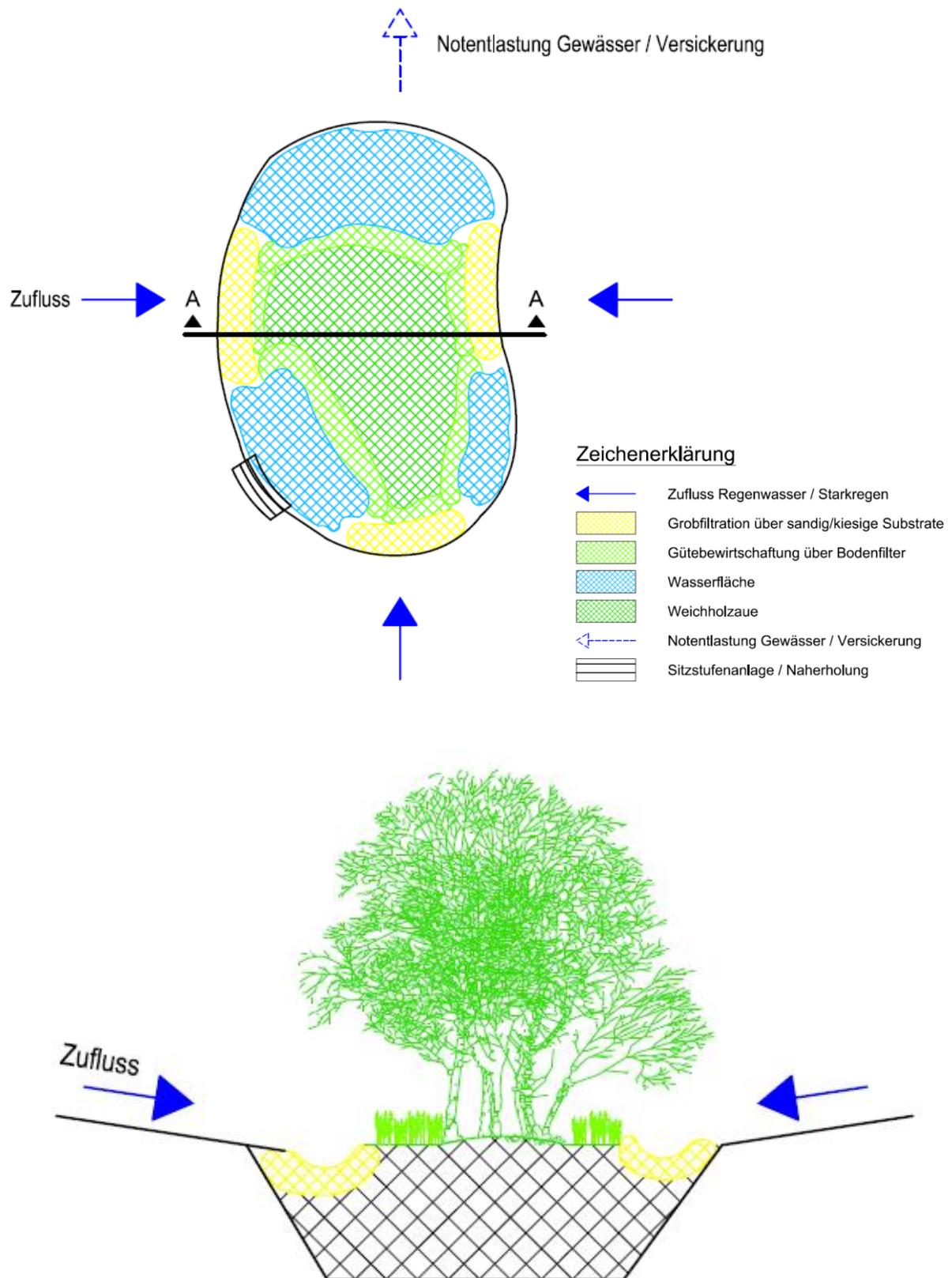


Abb. 2 Schema einer urbanen Klimainsel

Erfahrungen aus dem Bau und Betrieb entsprechender Anlagen liegen dabei hinsichtlich wesentlichen Anlagenteile vor. So wird beispielsweise auf dem Flugfeld in Böblingen/Sindelfingen das Regenwasser eines Stadtquartiers seit annähernd zwanzig Jahren gesammelt, in Bodenfiltern abgereinigt und in einem abgedichteten Seebauwerk zwischengespeichert. Zur Gütebewirtschaftung des Stillgewässers wird in den Sommermonaten Seewasser über die schilfbewachsenen Bodenfilter rezirkuliert. Neben dem See tragen also auch die Reinigungsanlagen zur Verdunstungs- und Kühlwirkung bei. Die Wasserabgabe aus dem bebauten Bereich an die Oberflächengewässer entspricht dabei dem un bebauten Zustand, so dass hier bereits vor zwanzig Jahren die aktuellen wasserwirtschaftlichen Ziele umgesetzt wurden.



Abb. 3 Flugfeld Böblingen / Sindelfingen, Übergang vom See in die Parkanlage „Grüne Mitte“ mit Schilfgürtel zur Wasserreinigung, Quelle: faktorgruen.de

4 Fazit

Klimainseln kombinieren Wasserrückhalt mit Kühlwirkung und sind damit ein Baustein einer Anpassungsstrategie unserer Siedlungen an die Folgen des Klimawandels.

Klimainseln weisen bei konsequenter Anwendung ein Speichervermögen weit jenseits üblicher Dimensionierungsansätze der Regenwasserbewirtschaftung auf. Sie sind daher ein wirkungsvoller Beitrag zur „Schwammstadt“ und können nennenswerte Teile von seltenen Starkregenereignissen in der Regel abflusslos aufnehmen.

Die Funktion der Anlagen bei Starkregen erfordert leistungsfähige Versickerungsanlagen, die mit Standardbauweisen auf den üblicherweise verfügbaren Flächen nicht erreichbar sind. Eine Sandfiltration erscheint technisch zunächst ausreichend. Da die Wässer im Bereich der Klimainsel langfristig gespeichert werden müssen (in der Regel muss die Füllung teilweise im Winterhalbjahr erfolgen, während das Wasser dann im Sommer verdunstet) wird eine Zirkulation über als Schilfflächen gestaltete Bodenfilter vorgesehen. Alle genannten Elemente wie auch die vorgesehene Weichholzaue bilden gleichzeitig einen Hotspot der Biodiversität mitten in der Stadt, der auch der Biotopvernetzung dienen kann. Die Klimainseln bieten sich gleichzeitig zur Naherholung an, beispielsweise können Sitzstufen, Steganlagen und Entdeckerpfade integriert werden. Aus der Klimainsel kann auch eine Entnahme für die Bewässerung klassischer Baumstandorte erfolgen.

Die Lösung erfordert ein Ausbrechen aus erprobten Standards, ohne aus technischer Sicht unwägbares Neuland zu betreten. Das auf dem Flugfeld Böblingen/ Sindelfingen etablierte System unterscheidet sich lediglich durch die dort fehlenden Weichholzaunen innerhalb des Seebauwerkes. Trotzdem bedarf eine Vielzahl an Detailfragen einer Klärung. Beispielsweise müssen zur Speisung auch die Regenwässer privater Dach- und Hofflächen in einer kommunalen Anlage genutzt werden dürfen, die Verkehrssicherung für innerstädtische Weichholzaunen und Wasserflächen muss mit den zuständigen Unfallversicherern geklärt werden und auch das Thema der Kontrolle von Stechmückenpopulationen (z.B. mit BIT oder durch Fressfeinde) ist wichtig für die Akzeptanz der Anlagen.

Für die Umsetzung einer Pilotanlage werden aktuell noch Vorhabenträger aus dem kommunalen Bereich gesucht.

Quellen

- [1] Parlow, Eberhard, Vogt, Roland and Feigenwinter, Christian 2014, *The urban heat island of Basel – seen from different perspectives*, Die Erde 145 [1-2]: 96-110.
- [2] Leibniz-Institut für Länderkunde, 2003, *Nationalatlas*, Band 2, Relief-Boden-Wasser, Seite 148.
- [3] Schrödter, H., 1985, *Verdunstung, anwendungsorientierte Meßverfahren und Bestimmungsmethoden*, Springer Verlag.
- [4] Schliep R., Ackermann W., Aljes V., et al. 2020, *Weiterentwicklung von Indikatoren zu Auswirkungen des Klimawandels auf die biologische Vielfalt*, BfN-Skripten 576, Bundesamt für Naturschutz, Bonn – Bad Godesberg.
- [5] Disse, M. 1995, *Modellierung der Verdunstung und der Grundwasserneubildung in ebenen Einzugsgebieten*, Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft der Universität Karlsruhe, Heft 53.

HYDROLOGIE UND DEREN ANWENDUNG NICHT NUR IN URBANISIERTEN GEBIETEN

Ivana Černá, Hana Hornová⁷

D

Das Referat befasst sich mit einer der wichtigen Aktivitäten des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts, das sich im Rahmen seiner Einstellung unter anderem auf die Messung von Oberflächen- und Grundwasser spezialisiert. Die von einem umfangreichen Netz von Oberflächenwasser-Messstellen gewonnenen Daten werden ausgewertet und weiterverwendet, beispielsweise als Grundlage für den hydrologischen Melde- und Vorhersagedienst, oder fließen in Berechnungen hydrologischer Studien und der Auslegung theoretischer Hochwasserwellen ein. Die Grundwasserüberwachung liefert Informationen über den Grundwasserstand in flach und tief gelegenen unterirdischen Schichten. Spezifisch und weniger bekannt sind auch die sogenannten hydropedologischen Profile, die in den 30er bis 40er Jahre des 20. Jahrhunderts im Flussgebiet von Thaya und Untermarch erstellt worden sind, ursprünglich als Sonden zur Überwachung des Grundwasserstands in den senkrecht zum Wasserlauf verlaufenden Profilen. Die Daten sollten als Grundlage für den Bau des Donau-Oder-Elbe-Kanals dienen. Der Bau des Kanals wurde aufgegeben, einzelne Profile und Sonden werden jedoch bis heute überwacht. Somit gibt es einzigartige, fast 90 Jahre lange Zeitreihen.

Schlüsselwörter

Hydrologie, Oberflächenwasser, Grundwasser, Durchflussmengenmessungen, Grundwassermessungen, hydropedologische Profile, Durchflussprognosen, Dürremanagementpläne, HAMR-Informationssystem

Geschichte

Der hydrografische Dienst entstand in den böhmischen Ländern bereits im 19. Jahrhundert. 1875 wurde in Prag die Hydrographische Kommission für das Königreich Böhmen gegründet. Nach dem 2. Weltkrieg wurden der hydrographische und der meteorologische Dienst im Hydrometeorologischen Institut vereinigt, und dieses hat sich mit der Gründung der Tschechoslowakischen Föderation 1969 in zwei unabhängige Einheiten getrennt – das Tschechische Hydrometeorologische Institut (ČHMÚ) mit Sitz in Prag und das Slowakische Hydrometeorologische Institut in Bratislava. Derzeit hat das Tschechische Hydrometeorologische Institut (ČHMÚ) seinen Hauptsitz in Prag und besteht aus sieben regionalen Zweigstellen, die Fachinformationen in den Hauptbereichen Meteorologie und Klimatologie, Hydrologie und Luftqualität bereitstellen.

Grundwassermessungen

Die ersten systematischen *Beobachtungen und Messungen der Oberflächenwassermengen* fanden in unserem Land ab der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts statt; in Prag wurden sie 1827 und in Mähren in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts eingeleitet. Nach der Gründung der Hydrographischen Kommission für das Königreich Böhmen hat man auch begonnen, das Messstellen-Netz zu entwickeln. Die Dichte der Beobachtungsstellen und die Länge des Beobachtungszeitraums sind für das Verständnis des hydrologischen Regimes in Fließgewässern von enormer Bedeutung. Unter hydrologischem Regime versteht man natürliche Schwankungen der Wassermenge, die auf bestimmten, durch das Klima im Einzugsgebiet des Gewässers bedingten Regularitäten beruhen. Aufgrund der geografischen Lage und der rauen Landschaftsoberfläche ist das Klima in der Tschechischen Republik sehr unterschiedlich, weshalb die Dichte der Messstellen diesem Sachverhalt angepasst werden muss. Derzeit gibt es im ČHMÚ-Netz 529 aktive Wassermessstellen, an 199 Messstellen davon wird auch die Wassertemperatur gemessen. Darüber hinaus werden an ausgewählten Messstellen Biota, Schwebstoffe und Sedimente gemessen. Zur Messung des Wasserstands wurden Limnimeter mit Schwebekörpern eingesetzt, die Messstellen wurden regelmäßig von ehrenamtlichen Beobachtern kontrolliert und diese kommunizierten telefonisch oder postalisch mit der zuständigen ČHMÚ-Zweigstelle. Derzeit wird der Wasserstand an den Messstellen durch automatische Manometer- oder Schwimmerpegel gemessen und die Daten werden in 10-Minuten-Intervallen an den Server gesendet. Wasserstände werden in Abflusswerte umgerechnet, ausgewertet und nach Validierung in Datenbanken gespeichert. Der Volumenstrom in den Wassermessprofilen der Messstellen wird regelmäßig durch Hydrometer bei unterschiedlichen Wasserständen gemessen. Diese Messungen sind unerlässlich für die Konstruktion von Pegelschlüsselkurven, die zur Umrechnung von Wasserständen in Abflüsse dienen.

⁷ Mgr. Ivana Černá, Ing. Hana Hornová, Český hydrometeorologický ústav, Kroftova 43, 616 67 Brno

Grundwassermessungen

Mit den *Grundwasserbeobachtungen* hat man in unserem Land an der Wende der 30er und 40er Jahre des 20. Jahrhunderts begonnen; damals wurde eine systematische Überwachung als Grundlage für die Untersuchung der Gesetze des Grundwasserkreislaufs in der Trasse des geplanten Donau-Oder-Elbe-Kanals eingeleitet. Die Profilsonden befanden sich quer zur Kanalstrecke und zugleich quer zur Längsachse der Täler. Hydropedologische (HP-) Profile befinden sich in den Einzugsgebieten der Flüsse Oder, Betsch, Thaya und March. Die ersten Beobachtungen begannen zwischen 1933 und 1934, weitere folgten schrittweise nach 1940. Ursprünglich wurden in Einzugsgebiet von March und Thaya 20 HP-Profilen überwacht; heute werden 10 HP-Profilen überwacht und die beiden verbleibenden Sonden von zwei Profilen, die vom Stausee Nové Mlýny überschwemmt wurden, wurden durch Nachbohren in Bohrbrunnen umgewandelt und werden nun weiter überwacht. Im Einzugsgebiet der Oder und der Betsch wurden 33 Profile errichtet und derzeit werden dort 12 Profile überwacht (einzelne davon haben jedoch nur noch eine Sonde und werden zukünftig wahrscheinlich auch in Bohrbrunnen umgewandelt). Heutzutage dienen HP-Profilen der allgemeinen Kenntnis des Grundwasserhaushalts in Talprofilen dieser Flüsse. Die Überwachung des Grundwasserspiegels in HP-Profilen ist aufgrund der Dauer ununterbrochener Beobachtungen des Grundwasserspiegels wichtig [4].

Das landesweite Grundwasserüberwachungsnetz entstand bei uns zwischen 1957 und 1969 und ist mit dem Projekt Grundwasser-Gebietsgliederung verbunden. Bei dieser Maßnahme wurde ein ausgedehntes Netz von Beobachtungsbohrungen im ersten Grundwasserstockwerk, hauptsächlich in Flusssedimenten errichtet. Daraus hat sich eine den Überblick über die Mächtigkeit des oberflächennahen Grundwasserleiters und dessen Ergiebigkeit liefernde Studie ergeben. Ausgewählte Bohrungen sind überwacht geblieben – sie dienen der langzeitigen Überwachung von Schwankungen der vertikalen Grundwasserbewegungen. Diese Bohrungen sind bis 15 Meter tief. In den 1990er Jahren wurde das ČHMÚ-Beobachtungsnetz um Bohrungen in tiefen Grundwasserleitern erweitert. Die Wasserstände in Tiefbohrungen stellen Grundwasserstände im Untergrund ohne äußere Einflüsse dar und reagieren in der Regel mit erheblicher Verzögerung – oft von mehreren Jahren – auf niederschlagsgünstige Perioden. Die tiefsten Tiefbohrungen erreichen eine Tiefe von mehreren hundert Metern. Im Laufe der Jahre wurde das Netzwerk ausgebaut und modifiziert – beispielsweise in den Jahren 2005-2007 im Rahmen des ISPA/FS-Projekts Nr.2000/CZ/16/P/PE/003, dessen Hauptziel war es, das Tiefbohrungsnetz auszubauen und ausgewählte bestehende Flachbohrungen zu sanieren. Derzeit wird das Netzwerk um Objekte erweitert, die im Rahmen des 2010–2016 umgesetzten Projekts "Rebilanzierung der Grundwasservorräte in ausgewählten Regionen der Tschechischen Republik" errichtet worden sind. Das Grundwassermessnetz verfügt per Ende 2022 über 1536 hydrogeologische Bohrungen.

Hydropedologisches Profil Lednice-Podivín

Das hydropedologische Profil Lednice-Podivín befindet sich in Flussauen von Ladenská Strouha, Trkmanka und Thaya. Das ursprüngliche Profil hatte 26 Sonden, nach allmählichen Änderungen sind es heute nur noch 11 Sonden (*Abb. 1*), die seit 1948 die Schwankungen des Grundwasserstands überwachen. Das Profil kreuzt insgesamt viermal die durch dieses Gebiet fließenden Wasserläufe und kopiert an fünf Sonden das zur Kulturlandschaft Eisgrub (Lednický areál) gehörende Bett der Alt Thaya (Stará Dyje). In der Nähe des HP-Profiles befinden sich außerdem Einzelbohrungen des primären Grundwassernetzes, deren Daten die Informationen über die Grundwasserschwankungen in diesem Bereich der Auenwälder ergänzen. Es handelt sich um die Bohrungen VB0334 Lednice, VB0344 Podivín und VB0407 Podivínská obora. Das hydropedologische Profil ist 4,064 km lang und weist eine durchschnittliche Höhe von 162,23 m über dem Meeresspiegel auf. [3]. 2020 wurde das Profil rekonstruiert. Die bereits verschlissenen ursprünglichen Schmalprofil-Stahlfutterrohre wurden durch neue 20 cm breite Kunststoffrohre mit Trinkwasserattest ersetzt. Der Bohrlochkopf wurde mit einer abschließbaren Edelstahlabdeckung versehen.

Von Anfang an fanden die Messungen an HP-Profilen einmal pro Woche, immer mittwochs, statt. 2012 wurde das Profil mit einem automatischen Aufzeichnungsgerät ausgestattet und seit 2013 sind Daten im 1-Tag-Rhythmus verfügbar. Seit 2020 sind die HP-Profil-Sonden mit Datenfernübertragung ausgestattet und die Daten werden täglich gesendet.

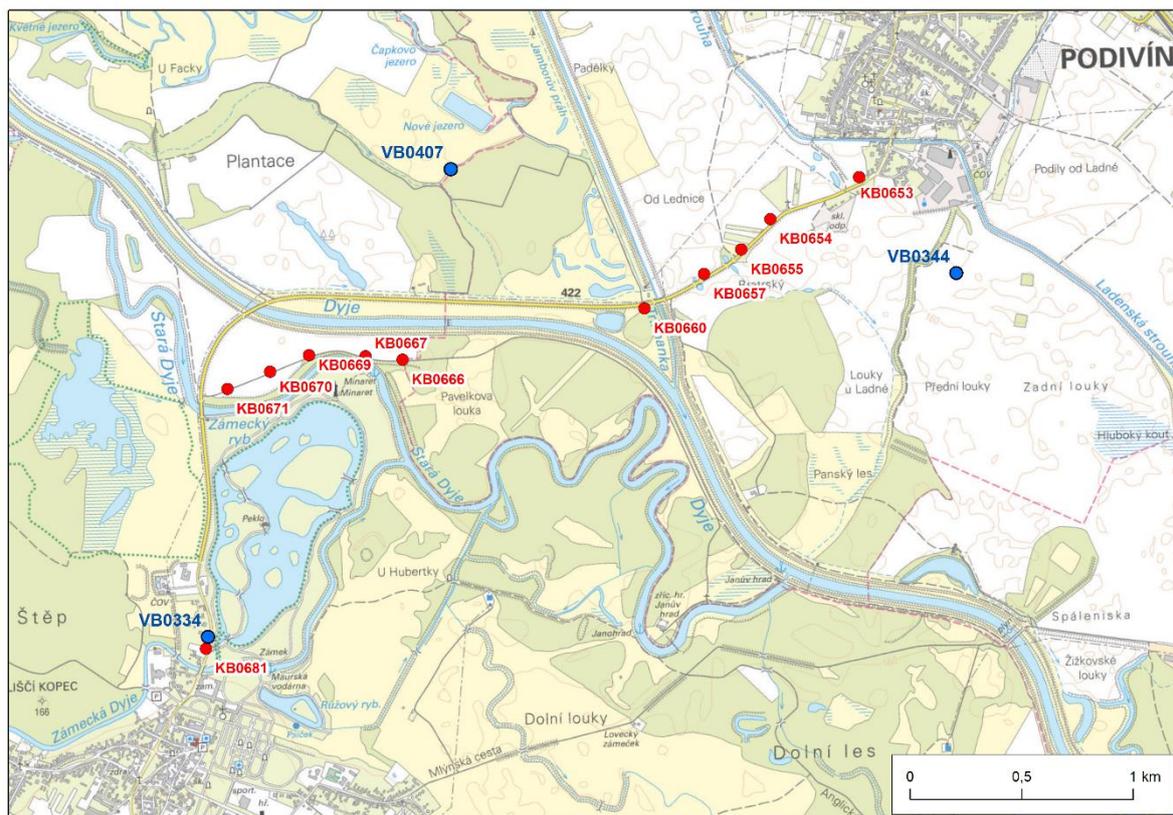


Abb. 1 Lage der HP-Profil-Sonden Podivín – Lednice (rot), Bohrbrunnen in der Nähe (blau)

Die durchschnittlichen monatlichen Füllstände der Brunnen im HP-Profil für den gesamten Beobachtungszeitraum (Abb. 2) veranschaulichen die Entwicklung und den Verlauf der Füllstände der Sonden im gesamten Profil und in unterschiedlichen Entfernungen vom Gewässer. Die aktuelle Gestalt des Profils lässt sich somit in den Podivín-Zweig und den Lednice-Zweig unterteilen. Der Podivín-Zweig (KB0653-KB0660) unterscheidet sich im Verlauf des durchschnittlichen monatlichen Wasserstands deutlich vom Lednice-Zweig (KB0666-KB0681), wo ein direkter Zusammenhang mit der Thaya-Oberflächenströmung beobachtet werden kann. Am Podivín-Zweig sind stärkere Schwankungen und insbesondere Absinken von Wasserspiegel erkennbar, was auf einen stärkeren Einfluss der Thaya-Regulierung und anschließend eine geringere Verbindung mit der Oberflächenströmung hinweist. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden Daten von einer Sonde für jeden Zweig ausgewählt (Abb. 3), wo der in den beobachteten Wasserständen aufgetretene Bruch deutlicher zu erkennen ist.

Basierend auf der Kenntnis der historischen Entwicklung des untersuchten Gebiets kann man Trockenperioden, Überschwemmungen oder andere Einflüsse unterscheiden. Der Grundwasserhaushalt in Südmähren unter den heutigen zum Wasserbauwerk Nové Mlýny gehörenden Stauseen hat sich nach 1972 erheblich verändert, als das Flussbett der Thaya im Zusammenhang mit dem geplanten Bau des genannten Wasserbauwerks reguliert wurde. Man kann feststellen, dass in den 1970er Jahren die Kurven der mittleren monatlichen Bohrungsfüllstände tatsächlich abnahmen und auch die Streuung der zu einer Sonde gehörenden Kurven sich verringerte. Eine geringere Streuung der gemessenen Wasserstände ist vor allem in Brunnen näher am Fluss Thaya sichtbar, woraus der bereits erwähnte Einfluss der Thaya-Regulierung erkennbar ist. Nach dem Bau der Stauseen Nové Mlýny sanken die fast jährlich wiederkehrenden erhöhten Grundwasserstände in den Sonden deutlich ab. Der Grundwasserspiegelhaushalt in den Sonden wurde auch durch das Befüllen des unteren Stausees des Nové-Mlýny-Wasserbauwerks im Jahre 1988 beeinflusst, was sich durch Senkung des Wasserstands bei allen Sonden zeigt, besonders deutlich bei denen in der Nähe von Podivín. Als Trockenperioden nach 1973 sind zum Beispiel die Dürreperioden 1991 und 2018 deutlich erkennbar.

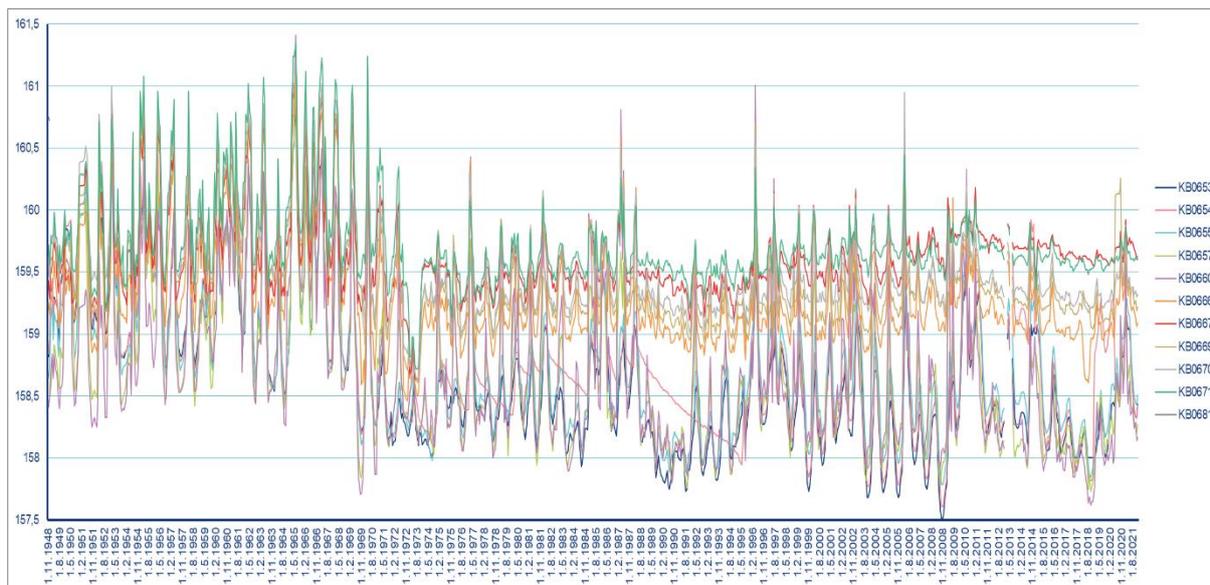


Abb. 2 Durchschnittliche Wasserstand-Monatswerte (m ü. NN) in Sonden des HP-Profiles Lednice-Podivín für den Zeitraum von 1948–2021

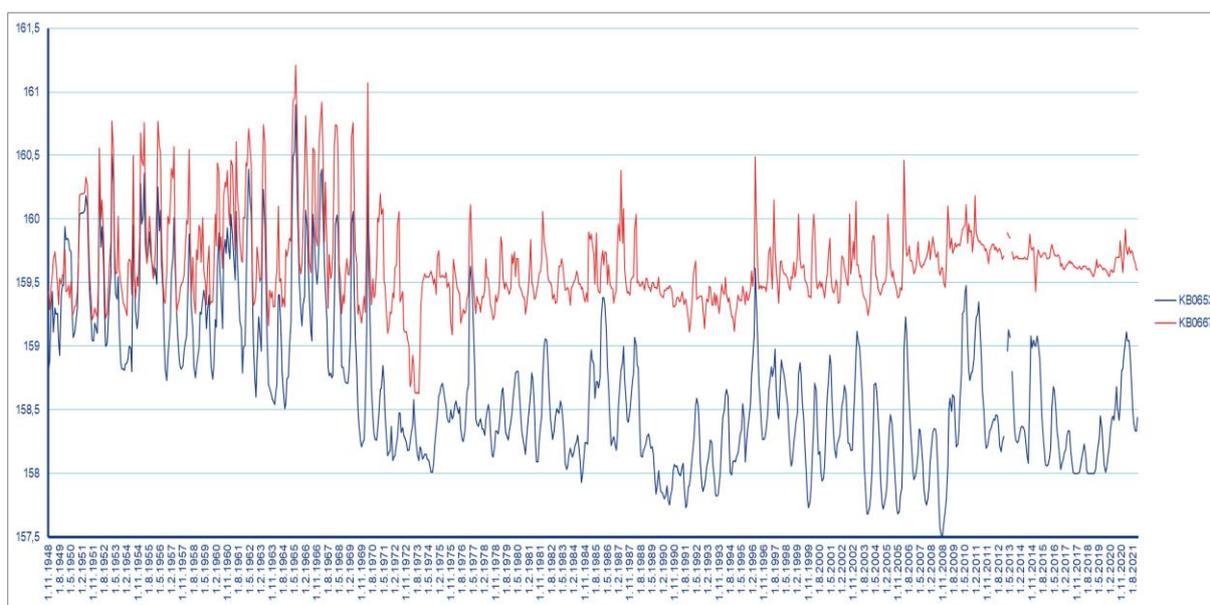


Abb. 3 Durchschnittliche Wasserstand-Monatswerte (m ü. NN) in den Sonden KB0653 und KB0667 des HP-Profiles Lednice-Podivín für den Zeitraum von 1948–2021

Praktische Nutzung der Messdaten

Hydrologische Gutachten und Studien

Ausreichend lange und qualitätsgerechte Beobachtungen an Wassermessstellen sind Grundlage für die Gewinnung langfristiger Daten über den Wasserhaushalt, wovon vor allem die M-Tagesabflusswerte (*Anm. d. Übers.: Der M-Tagesabfluss ist der durchschnittliche Tagesabfluss, der an M Tagen im Jahr erreicht oder überschritten wird*) und N-Jahresabflusswerte (*Anm. d. Übers.: Der N-Jahresabfluss ist ein solcher Maximalabfluss, der langfristig alle N Jahre erreicht oder überschritten wird*) von Bedeutung sind.

Die N-Jahresabflüsse werden benötigt für die Planung und Genehmigung von Bauanlagen in der Nähe von Wasserläufen, wo die Gebäude durch Hochwasser gefährdet werden können. Durchlässe und Brücken müssen eine ausreichende Durchflusskapazität aufweisen, Hochwasserdämme hingegen müssen hoch genug sein, um vor

Überschwemmungen zu schützen. Aus diesem Grund verlangen die Bau- und Wasserbehörden Gutachten über N-Jahresabflusswerte. Um beurteilen zu können, ob ein Kleinwasserbauwerk auch bei Hochwasser ausreichend sicher ist, werden Einwirkungen einer theoretischen Hochwasserwelle auf das jeweilige Wasserbauwerk mathematisch ermittelt.

Der Wasserhaushalt in einem Wasserlauf ist durch die M-Tagesabflusswerte (Q330-Tagesabfluss, Q355-Tagesabfluss, Q364-Tagesabfluss und langzeitiger Mittelwert Qa) beschrieben. Um sicherzustellen, dass dem Gewässer nicht mehr Wasser als ökologisch vertretbar entnommen wird, entscheiden Wasserbehörden je nach dem, wie viel Wasser "verfügbar" ist, und legen Mindestabflusswerte fest, die im Wasserlauf unterhalb der Entnahmestelle eingehalten werden müssen. Aufgrund dessen verlangen Wasserbehörden, dass dem Antrag ein Gutachten beigelegt wird, aus dem der durchschnittliche Durchfluss oder sog. M-Tagesdurchflusswerte ersichtlich sind.

Hydrologische Vorhersagen

Überschwemmungen sind ein Naturphänomen, das nicht nur Sachwerte, sondern auch die Gesundheit der Menschen beeinträchtigt. Daher wurde im Rahmen des Hochwasserschutzes auch der Hochwassermelde- und -vorhersagedienst (HPPS) errichtet. HPPS gewährleistet die Überwachung der aktuellen Situation, gibt Prognosen und Warnungen aus und stellt im Hochwasserfall eine Informationsquelle für die zuständigen Behörden, nämlich Hochwasserkommissionen dar [1].

Wassermessstellen dienen dem HPPS als Meldeprofile (Kategorie A für Hauptflüsse, Kategorie B für kleinere und Nebenflüsse). Für ausgewählte Messstellen an größeren Fließgewässern werden hydrologische Vorhersagen berechnet. Als grundlegende Inputs bei der Berechnung von Prognosemodellen dienen gemessene Durchflusswerte. Das Modell verwendet dabei standardmäßig auch qualifizierte Niederschlags- und Lufttemperaturvorhersagen, Eingriffe an Wasserbauwerken u. ä. Die hydrologische Vorhersage wird für die zwei nächsten Tage ermittelt. Tagesprognosen für ausgewählte Prognoseprofile können unter <https://hydro.chmi.cz/hpps/?id=forecastn> eingesehen werden.

Dürremanagementpläne

Die Dürreepisoden der letzten Jahre haben nicht nur erhebliche Schäden mit sich gebracht, sondern auch Überlegungen zur Notwendigkeit eingestellt, sich auf das Phänomen der Dürre vorzubereiten, diese im Frühstadium der Entwicklung zu erkennen und die notwendigen Maßnahmen zu ergreifen, um die durch die Dürre verursachten Schäden zu minimieren. Mit der Novellierung des Wassergesetzes (Nr. 544/2020 Sb.) wird der Dürrevorhersagedienst mit regelmäßigen Informationen errichtet. Das Tschechische Hydrometeorologische Institut hat gemäß der genannten Novelle Regionen und Gemeinden mit erweitertem Zuständigkeitsbereich über die Dürregefahr und -entwicklung aufklare und nicht belastende Weise zu informieren, wodurch anschließend eine wirksame Entscheidungsfindung über mögliche Maßnahmen möglich ist.

Als eine der derzeit wichtigsten Forschungsaktivitäten wird in der Wassergesetznovelle die Schaffung von Instrumenten zur langfristigen Vorhersage des Wasserstands in Gewässern und die anschließende Interpretation der Instrumente in Plänen zur Bewältigung von Dürren und Wasserknappheit betrachtet. Die regionalen Dürrepläne sollen noch in diesem Jahr, der landesweite Plan Anfang 2024 fertiggestellt werden.

Das Hauptziel von Dürreplänen besteht darin, Maßnahmen vorzuschlagen, um sicherzustellen, dass ausreichend Wasser zur Deckung wesentlicher gesellschaftlicher Bedürfnisse vorhanden ist und dass die negativen Umweltauswirkungen der Wasserbewirtschaftung während einer Dürre sowie Auswirkungen von Dürre und Wasserknappheit auf Wirtschaftsaktivitäten minimiert werden. Ein Dürreplan enthält die Abgrenzung und Beschreibung des Gebiets mit der Identifikation von Wasserquellen und Beschreibung von Dürreerisiken einschließlich möglicher Auswirkungen. Die Entscheidungsbefugnis für den Erlass von Maßnahmen im Rahmen der Dürrepläne im Falle von Wasserknappheit liegt bei Dürrekommissionen. Auf regionaler Ebene finden bereits Tagungen der Dürrekommissionen statt, an denen auch Vertreter des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts teilnehmen.

Aufgrund der Besonderheit des Dürrephänomens werden Informationen über die Dürresituation und -entwicklung in Tschechien nicht im Warnsystem, sondern mittels HAMR-Informationssystem (<https://hamr.chmi.cz/hamr-JS/vystraha.html>) bereitgestellt. Innerhalb des HAMR-Informationssystems wird Dürre in meteorologische, agronomische, hydrologische und sozioökonomische Dürre unterteilt. Daher stammt auch der Name des HAMR-

Informationssystem (Hydrologische, Agronomische, Meteorologische Dürre und Retention von Wasser in der Landschaft). Weitere Informationen zum HAMR-Informationssystem findet man unter <https://hamr.chmi.cz/metodiky> und <https://hamr.chmi.cz/o-projektu>. Das Informations- (Warn-)System über die Dürresituation und -entwicklung wird im wöchentlichen Zyklus beim Tschechischen Hydrometeorologischen Institut, Zentraler Prognosestelle in Prag-Komořany betrieben; anschließend werden die Informationen zur Dürresituation und -entwicklung ins HAMER-Informationssystem gesendet und dort spätestens am Mittwoch visualisiert [2].

Literaturnachweis

- [1] ČHMÚ: Průvodce informacemi Hlásné a předpovědní povodňové služby ČHMÚ pro vodohospodáře, online: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/CB/pruvodce/pruvodce_vodohospodari_modelove_predpovedi.html.
- [2] ČEKAL R., PECHA M., VLNAS R., LAMAČOVÁ A., LEDVINKA O., VIZINA A., PAVLÍK P., GEORGI-EVOVÁ I. (2022): Informační systém o stavu a vývoji sucha na území České republiky. In: Meteorologické zprávy, S. 165-169, ročník 75. Praha.
- [3] ČERNÁ I., KASALOVÁ B. (2017): Podzemní vody v oblasti Dyje a dolního toku řeky Moravy. In: Sborník příspěvků z konference Manažment povodí a extrémne hydrologické javy. ISBN 978-80-89740-16-1. Bratislava.
- [4] SOUKALOVÁ E. (1999): Pozorování hladiny podzemní vody v hydrogeologických profilech v údolí řeky Moravy a Dyje. In: Konferenzschrift der XI. internationalen wissenschaftlichen TU-Konferenz, Sektion Wasserwirtschaft und Wasserbau, S. 149-152. Brno.
- [5] Interne Dokumente des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts.

LICHOCEVES – EINE SIEDLUNG IM GARTEN

Jitka Thomasová⁸, Aleš Steiner⁹

D

Das Projekt **Lichoceves – eine Siedlung im Garten** soll ein neues Städtchen für etwa 3500 Einwohner entwerfen, wobei ein moderner, nachhaltiger und hochwertiger Lebensraum im unmittelbaren Umland von Prag entstehen soll. Es ist eine Gelegenheit, aus den Fehlern der Vergangenheit zu lernen und eine konzeptionelle, komplexe Herangehensweise an das Gebiet mit kontrollierter nachhaltiger Entwicklung und modernem Naturschutz sowie mit Klimawandel-Vorbeugungsmaßnahmen im Maßstab einer Kleinstadt zu entwerfen.

Es ist Entwurf eines modernen Wohnraums in der Vorstadtlandschaft, Vision eines neuen Städtchens einschließlich der entsprechenden öffentlichen Infrastruktur und Einbindung der geplanten Bebauung in die bestehende Landschaft. Neben der Wohnbebauung sind vollständige Folgeeinrichtungen vorgesehen. Die Gebäude werden in der Landschaft von neuen Grüngürteln, Wegen, Gehölzen, Regengärten und anderen Landschaftselementen begleitet, die zur Erholung der Einwohner und zugleich Verbesserung der Funktionalität von Ökosystemen und zur Wasserrückhaltung in der Landschaft dienen.

Der aktuelle Stand des Gebiets

Auf der Grundlage einer städtebaulichen Studie hat der Bauherr Pläne für Raumordnungsverfahren in Auftrag gegeben, welche die technische und Verkehrsinfrastruktur auf einer Fläche von ca. 110 ha behandeln sollen. Das Gebiet liegt in der Gemarkung der Gemeinde Lichoceves am nordwestlichen Rand von Prag und gehört verwaltungsrechtlich zur Region Mittelböhmen. Im Dorf leben derzeit etwa 400 Einwohner; es ist eine deutliche Stagnation der Entwicklung zu verzeichnen, die vor allem auf die völlig unzureichende Infrastruktur zurückzuführen ist. Gegenwärtig gibt es dort nur die grundlegende technische Infrastruktur, die hauptsächlich aus einem teilweise über Freileitungen, teilweise über Kabel geführtes Stromnetz besteht.

Ebenso das von der Firma CETIN verwaltete elektronische Kommunikationsnetz. Durch das Gelände verläuft eine 110-kV-Freileitung, die über die Grenzen der Bebauung hinaus verlegt werden muss. Es gibt dort auch drei Strecken der industriellen Wasserleitung, die das Heizwerk Kladno mit Elbewasser versorgen. Eine der Wasserleitungen muss teilweise verlegt werden. Die Wasserversorgung der Einwohner erfolgt über Brunnen und Abwasser wird in häuslichen Senkgruben, in Ausnahmefällen in Kleinkläranlagen entsorgt. Das Gebiet ist durch Straßen der III. Ordnung erschlossen, diese verbinden Lichoceves mit den umliegenden Siedlungen und dem übergeordneten Straßennetz.

Das Planungsgebiet umfasst das bestehende Dorf und unbebaute Flächen. Bei den unbebauten Flächen handelt es sich um zwei Grundstücksarten: Zum einen ist es das ehemalige LPG-Gelände, auf dem einzelne Gebäude bereits in der Vergangenheit abgerissen worden sind, zum anderen sind dies derzeit noch bewirtschaftete landwirtschaftliche Flächen. Die neuzeitliche Entwicklung der Gemeinde ist geprägt durch den Bau der Eisenbahnlinie Hostivice–Podlešín, durch die Errichtung eines Großraumstalls am nördlichen Rand des Dorfes und durch den Bau einer luxuriösen Villa mit einem großen Garten und mit direkter Verbindung zum Dorfzentrum. Das Gebiet der Gemeinde wird durch Eisenbahnlinie in die Ost- und die Westseite geteilt.

⁸ Ing. Jitka Thomasová, PPU spol. s r.o., Vyžlovská 2243/36, 100 00 Praha 10

⁹ Ing. Aleš Steiner, STEINER A MALÍKOVÁ krajinářští architekti, Badeniho 5, 160 00 Praha 6

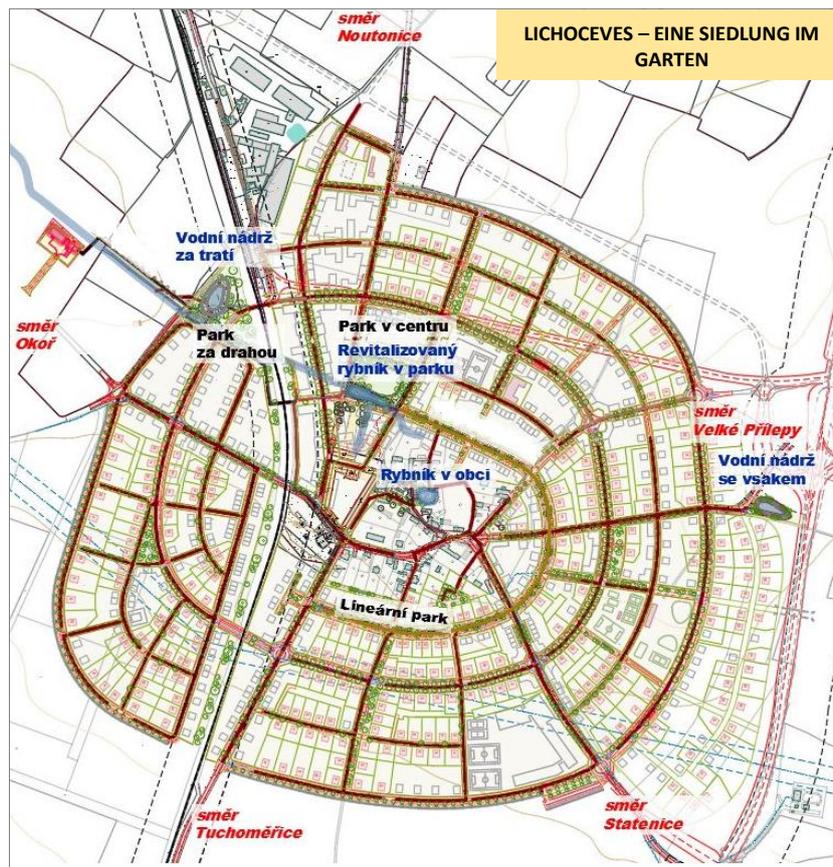


Abb. 1 Lageplan Lichoceves – eine Siedlung im Garten; Bebauung auf 110 ha mit einem Regenwassermanagementkonzept

Umfang des zu lösenden Projekts

Die Neubebauung erfordert die Errichtung einer komplexen technischen und Verkehrsinfrastruktur, und zwar sowohl im Bestand als auch im Neubaugebiet. Es liegen Pläne für eine neue Zuleitung vom Wasserentnahmeobjekt und für eine neue Versorgungsleitung vor, ebenfalls wird Errichtung einer neuen Kläranlage außerhalb des bebauten Gebiets geplant, wobei dieser Kläranlage Schmutzwasser zugeführt werden soll. Ebenfalls liegt Entwurf eines neuen Stromverteilungsnetzes einschließlich Trafostationen, Hoch- und Niederspannungsleitungen, Verlegung der nicht geeigneten Leitungen und neuer elektronischen Kommunikationsleitungen vor. Diese werden als fürs Einblasen von LWL-Kabeln vorbereitete HDPE-Rohre ausgeführt. Die öffentliche Beleuchtung im gesamten Gebiet wird komplett neu ausgeführt, beleuchtet werden Straßen Gehwege, Radwege, andere öffentliche Plätze, Kreisverkehre und Fußgängerüberwege. Im gesamten Gebiet werden Ausbesserungen der bestehenden Straßen der III. Ordnung sowie Neubau örtlicher Verkehrsstraßen und Erschließungsanlagen vorgesehen. Das Straßensystem der III. Ordnung wird anders gestaltet, indem man das Dorfzentrum durch Straßenverlegungen entlastet, so dass die Straßen dem neu entworfenen Stadt- und Verkehrskonzept der Gemeinde entsprechen. Der grundlegende Teil der Verkehrsnetzgestaltung sind den Funktionsgruppen C und D zugeordnete örtliche Straßen, die überwiegend eine Verbindungs- oder Aufenthalts-/Verbindungsfunktion haben. Die Verkehrswege sind für die Fahrt von Kfz und Fahrrädern, für die Bewegung von Fußgängern, für die Bedienung des jeweiligen Gebiets bestimmt. Die Transitfunktion wird vernachlässigt, da diese erstrangig den Straßen der III. Ordnung überlassen wird. Für die direkte Bedienung ausgewählter Objekte werden Erschließungsanlagen geplant. Für den öffentlichen Nahverkehr sorgen Busse, auch die Nutzung der Bahn ist möglich.

Konzept der Regenwasserentsorgung

Bei der Erstellung des Verkehrskonzepts und beim Entwerfen aller Elemente der technischen Infrastruktur arbeitete das Ingenieurteam mit Architekten, Stadtplanern und Landschaftsarchitekten zusammen, um eine funktionierende Stadt mit einer komplexen, dem 21. Jahrhundert entsprechenden technischen und Verkehrsinfrastruktur zu schaffen.

Aus der ganzen Palette von Problemen, mit denen sich die Projektbearbeiter auseinandersetzen mussten, wird nun das Problem der Regenwasserbehandlung vorgestellt. Vom ersten Moment an wurde versucht, Regenwasser trotz der widrigen Rahmenbedingungen vor Ort zu verwenden. Die widrigen Rahmenbedingungen bestehen insbesondere in der bei der ingenieurgeologischen und hydrologischen Voruntersuchung festgelegten Tatsache, dass die Versickerungsfähigkeit des Bodens im ganzen Gebiet sehr gering ist. Dies ist nicht gerade ein günstiger Anfang der Entstehung einer Kleinstadt mitten im Grünen, obwohl die Projektbearbeiter sich eben diese Eigenschaft als Grundziel vorgesteckt haben. Im Gebiet gibt es keinen nennenswerten Wasserlauf, in den Regenwasser fließen könnte. Es entspringt dort der völlig unbedeutende Okořský-Bach, der in Okoř den rechten Nebenfluss des Zákolský-Baches bildet. Es war erforderlich, ein Konzept zur Regenwasserableitung zu entwickeln, das die Rückhaltung des Regenwassers in der Landschaft gewährleistet und eine sichere Entsorgung des Regenwassers bei außergewöhnlichen Regenereignissen ermöglicht. In enger Zusammenarbeit von Architekten, Stadtplanern, Landschaftsarchitekten, Wasserbau- und Verkehrsingenieuren entstand ein auf dem Konzept der städtebaulichen und landschaftsarchitektonischen Lösung der Siedlung basierender Entwurf zur Regenwasserableitung.

Dank der großzügigen Anwendung der Landschaftsarchitekturprinzipien bei der Erstellung des Stadtkonzepts war es möglich, die Regenwasserableitung mittels zeitgemäßen Regenwassermanagements in Form der "blau-grünen Infrastruktur" zu gestalten. Auf dem Großteil des Neubaugebiets sollen Einfamilienhäuser gebaut werden, ein Teil besteht aus Wohnungshäusern, die ebenfalls von viel Grün umgeben sind. Gemäß § 5 Abs. 3 der sog. Dürrennovelle des Wassergesetzes Nr. 544/2020 Sb. wird die Notwendigkeit berücksichtigt, in jedem Stadtteil atmosphärische Niederschläge anzusammeln und anschließend zu nutzen. Gleiches gilt für die Folgeeinrichtungen. Zeitversetzt nach dem Abklingen der Niederschlagsereignisse fließt aus diesem Bereich nur ungenutztes Wasser aus den Rückhaltebecken ab. Regenwasser von Straßen und befestigten öffentlichen Flächen wird durch Regenwasserkanäle abgeleitet. Ein wichtiges Element der Landschaftsarchitektur sind Straßen mit vielen erwachsenen Bäumen in Baumreihen, Alleen, auf Rasenflächen und auf anderen angrenzenden öffentlichen Flächen. Die Baumverteilung ist kompositorisch an das Profil und den spezifischen Charakter der jeweiligen Straße angepasst, davon hängt dann die Wahl der Baumart und der Abstand der Bäume ab. Bei der detaillierten Standortbestimmung werden Verkehrsbeschränkungen (vor allem Sichtverhältnisse und Hauseinfahrten), Leitungen der technischen Infrastruktur u. ä. berücksichtigt. Die Baumreihenanlage verbindet ausreichende räumliche Bedingungen fürs Wachstum von Bäumen mit der Nutzung von Grüngürteln als Elementen der blau-grünen Infrastruktur. Auf diese Weise gestaltete verwurzelbare Vegetationsstreifen bieten ausreichend Raum für erwachsene Bäume und deren Bewässerung und verlangsamen gleichzeitig effektiv den Wasserabfluss bei teilweiser Aufnahme von Regenwasser. Der Entwurf sieht die Anwendung des sog. „schwedischen Modells“ vor, bei dem das Anbausubstrat aus Grobkies mit Beimischung von Kompost und Pflanzenkohle besteht. Durch diese Technologie ist es möglich, Regenwasser von Straßen und Gehwegen in die Vegetationsstreifen abzuleiten; zusätzlich zur Bewässerung der Baumreihe wird dadurch Reduzierung der der Kläranlage zuzuführenden Regenwassermenge erzielt.



Abb. 2 Technologie der Baumreihenanlage

Die beschriebene Lösung wird auch bei angrenzenden Kleinparkanlagen, in Innenblöcken, auf Sportflächen und beim begleitenden Grün angewendet. Dabei werden mit Regenbeeten durchsetzte Rasenflächen angelegt.



Abb. 3 Regenbeet – Baumreihe in einem Regenbeet

Das auf diese Weise reduzierte Regenwasser aus den Abwasserkanälen östlich der Eisenbahn wird in eine im Grünen im Ortszentrum errichtete Versickerungsmulde eingeleitet. Das städtebauliche Projekt sieht einen sog. Linienpark vor, der das Zentrum der Gemeinde umgibt und einen skelettartigen grünen Ring in der geplanten Bebauung darstellt. Dessen Grundlage ist ein 10 m breiter zentraler Grünstreifen in der Parková-Straße mit einer (zentralen) längsgerichteten grasbewachsenen Versickerungsmulde, die dazu dient, Regenwasser aus dem weiteren Einzugsgebiet der Siedlung zurückzuhalten und teilweise anzusammeln. Parallel damit erfüllt der Linienpark eine Erholungsfunktion (Spaziergänge, Joggen, kleine Aktivitäten mit kurzzeitigem Aufenthalt) und stellt einen wichtigen Verbindungsweg für Fußgänger dar. Die Gestaltung des Parks ist eher naturnah; im Gebrauchsrasen sind zweikeimblättrige Arten vertreten und Mähintervalle sind insbesondere im Bereich der Versickerungsmulde länger. In der Baum- und Strauchschicht werden bevorzugt heimische Arten der für den jeweiligen Standort geeigneten Laubbäume verwendet und durch die bewährten, im Innebereich von Siedlungen traditionell gepflanzten Holzarten ergänzt. Die Versickerungsmulde selbst ist als trockene, grasbewachsene Mulde mit wasserrückhaltenden Untergrundschichten und der begleitenden parkartigen Vegetation entworfen; Regenwasser fällt dort nur bei größeren Regenereignissen an und die Entleerung der Mulde erfolgt allmählich.



Abb. 4 Beispiel für eine Versickerungsmulde

Die Versickerungsmulde ist durch sich kreuzende Verkehrswege in acht Segmente unterteilt; die Segmente sind durch unter den Verkehrswegen verlaufende Rohre miteinander verbunden. Um den Wasserrückhalt zu erhöhen, werden auf der ganzen Länge der Versickerungsmulde die Rückhaltung des Regenwassers in Tümpeln ermöglichende lokale Kleindämme angelegt und Querabläufe zu Bäumen errichtet, um eine intensivere Bewässerung auch nach dem Abklingen der Niederschläge zu gewährleisten. Darüber hinaus verbessern die Überläufe der ämme bei Regen das akustische und optische Erscheinungsbild des Standorts.



Abb. 5 Versickerungsmulde mit Kleindämmen

Der bestehende Dorfteich bleibt als ein Teil des Projekts erhalten; der Überlauf davon wird ebenfalls in die Versickerungsmulde geleitet. Die Regenwasserkanäle werden in die Versickerungsmulde stufenweise eingespeist, so dass keine Gefahr der Überfüllung der Mulde besteht und im Gegenteil ein stufenweiser Durchfluss bei Regen gewährleistet ist. Durch den Einbau einfacher Elemente wird es möglich sein, die Versickerungsmulde an mehreren Stellen einfach zu Fuß zu passieren.

Neben kleinen Grünflächen werden im öffentlichen Raum auch weitere Parkanlagen vorgesehen, die ebenfalls der Regenwasserrückhaltung dienen sollen. Neben dem bereits beschriebenen Linienpark in der Parková-Straße handelt es sich um den **Zentralpark**; mit diesem wird ein Erholungsgebiet im Zentrum der neuen Siedlung geschaffen; im Zentralpark befindet sich der zu revitalisierende Parkteich, in den Regenwässer von der Versickerungsmulde im Linienpark und vom angrenzenden Einzugsgebiet geleitet werden. Eine andere Parkanlage ist der **Park hinter den Bahngleisen**, in dem sich ein Polder befindet, der Regenwasser aus den nordöstlichen und westlichen Teilen des Gebiets auffängt. Der Park hinter den Bahngleisen ist als eine naturlandschaftliche Anlage mit Anschluss an das angrenzende Gebiet des geschützten Naturdenkmals konzipiert. Die Rasen in allen Parkanlagen sind zu Wasserrückhaltebecken geneigt und als Aufenthaltswiesen konzipiert, es gibt dort Versickerungsmulden oder leichte Bodenvertiefungen und andere Rückhalteelemente, damit das Wasser im Grün gehalten wird und auf keinen Fall in die Kanalisation fließt. Parks und andere kleinere Grünflächen gelten ebenfalls als wichtige Elemente der Wasserrückhaltung im Gebiet. In allen Parks sind sandgeschlämmte Fußwege oder Wege aus mechanisch befestigtem Steingemisch geplant.



Abb. 6 Steg über Versickerungsmulde

Gewässer im Planungsgebiet

Sowohl bestehende als auch neu zu errichtende Wasserflächen spielen eine wichtige Rolle bei der Lösung des Regenwassermanagements im Planungsgebiet. Derzeit gibt es auf dem zentralen Dorfplatz ein Himmelsweiher, der im Rahmen des Projekts **Dorfteich** genannt wird. Der Dorfteich wird praktisch keine Veränderungen erfahren, die Neubebauung berührt ihn nicht und auch dessen Einzugsgebiet wird nicht größer sein. Diesem Teich wird nur Regenwasser vom Dorfplatz nach der Aufbereitung zugeführt werden, was bereits jetzt der Fall ist. Der Überlauf vom Dorfteich wird zur Versickerungsmulde im Linienpark abgeführt.

Ein weiteres bestehendes Gewässer ist der **Parkteich**, was derzeit ein kleines Wasserreservoir ist. In den Parkteich wird Wasser von der Versickerungsmulde im Linienpark eingespeist. Die Kapazität des Parkteichs ist durch Vergrößerung der Teichfläche zu erhöhen, das Wasser wird geregelt abgeführt werden. Die langzeitige Höhenlage des Wasserspiegels bleibt bei 302,40. Nach dem Abschwellen des Hochwassers werden diese gelegentlich überschwemmten Flächen zum Bestandteil der Rasenflächen des Zentralparks. Der Teich wird einschließlich des bestehenden Teichdamms revitalisiert.



Abb. 7 Wasserfläche mit umliegender Parkanlage

Das Gebiet östlich der Bahnlinie fällt leicht zum Parkteich ab und gehört damit zum Einzugsgebiet des Okořský-Baches, leider betrifft dies jedoch nicht die gesamte bebaute Fläche. Das Gebiet ist stark fragmentiert und im nördlichen Teil davon ist eine Schwerkraftentwässerung der Regenwässer ins Einzugsgebiet des Okořský-Baches nicht möglich. Es gibt dort weder einen anderen Wasserlauf noch die Möglichkeit, Regenwasser vom Gebiet über die gemeindeeigenen Grundstücke abzuführen. Es wird notwendig, Regenwasser in ein Rückhaltebecken ohne Abfluss mit künstlicher Versickerung fließen zu lassen. Das Wasserbecken kann mehrere Niederschlagsereignisse in unmittelbarer Folge sicher aufnehmen. Anschließend tritt eine allmähliche Versickerung und Verdunstung ein. Laut hydrogeologischer Voruntersuchung kommen im Gebiet lössige und sand-tonige Lehmboden vor; diese bilden die Deckschicht und beschränken das Versickern von Regenwasser in den Untergrund. Der Versickerungskoeffizient beträgt ca. $3,0 \times 10^{-7}$ m/sec. Grundwasser befindet sich 12 - 15 m tief, es wird durch Regenwasser nicht beeinträchtigt. Das Wasserreservoir wird zwischen der Kante der bestehenden Bebauung und der künftigen Umgehungsstraße eingeklemmt. Es wird durch das vorhandene Gelände erheblich eingesenkt, aufgrund dessen wird es durch Umzäunung und entsprechende Begrünung vor Zugang gesichert. Die Versickerungsverhältnisse werden dadurch verbessert, dass das Erdmaterial auf der Beckensohle durch eine mehr versickerungsfähige Materialschicht ersetzt wird. Die Sohle und die Ufer des Wasserreservoirs werden mit geeigneten nassliebenden Pflanzen bepflanzt. Wasservolumen 1 100m³. In den Planungsunterlagen wird dieses Wasserreservoir als **Wasserreservoir mit Versickerung** bezeichnet.

Das letzte Gebiet östlich der Bahnlinie ist der nordöstliche Bereich, dieses Gebiet lässt sich nicht durch Schwerkraft entwässern. Das Wasser wird durch ein unter dem Gleis führenden Kanal nach Westen abgeleitet. Der unmittelbar an die Gleise angrenzende Bereich wird als naturlandschaftliche Anlage mit Anschluss an das angrenzende Gebiet des geschützten Naturdenkmals konzipiert. Somit entsteht dort der **Park hinter den Bahngleisen** mit gelegentlicher Wasserfläche, dem sog. Polder (in den Planungsunterlagen wird es **Wasserreservoir hinter den Bahngleisen** bezeichnet). Dabei handelt es sich um ein Wasserreservoir, das nicht nur mit Regenwasser über den Kanal von Osten, sondern auch mit Regenwasser vom bebauten Gebiet westlich der Bahnlinie eingespeist wird. Das letztgenannte Regenwasser wird durch einen Abwasserkanal geleitet, der den gesamten Bereich des Neubaugebiets westlich der Bahnlinie entwässert. Gleich wie im Osten wird auch hier das Wasser von Straßen auf Grünflächen und Baumreihen mit angelegter blau-grüner Infrastruktur entlang der Straßen geleitet, wodurch der Regenwasserabfluss reduziert wird. Die Gestaltung der Beckenufer sollte im Ergebnis möglichst glatt sein, damit dieses technische Element möglichst natürlich wirkt. Die genauen Pflanzarten für die Beckensohle und -ufer ergeben sich aus den Wasserverhältnissen, die in späteren Phasen genauer bekannt werden. Die Artenzusammensetzung von Gehölzen und der Krautschicht wird den natürlichen Pflanzengemeinschaften in unmittelbarer Nähe des Standorts entsprechen. Bevorzugt werden heimische Arten mit einer größeren Vertretung der Strauchschicht und mit Verwendung von blühenden und fruchtenden Gattungen verwendet. Auf dem gesamten Gebiet des Parks wird Grasbestand mit Vorkommen zweikeimblättriger Arten und mit längeren Mähintervallen vorgesehen.

Okořský-Bach

Okořský-Bach ist ein im Parkteich entspringender Wasserlauf und wesentlicher Regenwasser-Vorfluter im betreffenden Gebiet. Da seine Kapazität nicht ausreichend ist, um diese Funktion nach der geplanten Bebauung zu erfüllen, wurden alle oben beschriebene Elemente geplant, welche die Rückhaltung des Regenwassers im Gebiet gewährleisten, aber vor allem Überschwemmungen im Einzugsgebiet dieses Baches bei außergewöhnlichen Regenfällen verhindern. Der Bach fließt reguliert aus dem Parkteich, und ein Teil davon muss aufgrund des neuen Bauvorhabens verlegt werden. Der Überlauf des Parkteichs wird durch ein Rohr DN800 über das urbanisierte Gebiet geleitet; in der Nähe der Bahnlinie geht das Rohr in einen natürlichen mit Gras bewachsenen Graben über, das bis zum Durchlass unter dem Gleis führt. Für die Unterführung unter dem Gleis wird der vorhandene Gewölbedurchlass genutzt, da seine Kapazität ausreichend ist. Hinter den Gleisen verläuft das Wasserbett bereits in der jetzigen Form, der Durchlass unter der bestehenden Straße entfällt, stattdessen wird ein Durchlass DN 1000 unter der neu zu bauenden Straße vorgesehen. Das Bachbett wird im sogenannten Verbundprofil gestaltet, d.h. der Bereich des Bachbetts besteht aus dem mit einer Ersatzauze umgebenen natürlichen Innenbett. Der Entwurf trägt zur allgemeinen Verbesserung der ökologischen Funktion des Baches bei, schafft ein günstiges Biotopangebot und Behausungsmöglichkeiten. Das Verbundprofil ermöglicht einen besseren Zugang zur Wasseroberfläche und Aufenthalt in deren Nähe. Der Verlauf des Baches bleibt bis zum Ende des Planungsgebiets unverändert. Der Bach verlässt das Gebiet hinter der geplanten Kläranlage, deren Abwasser in den Únětický-Bach eingeleitet wird. Okořský-Bach fließt weiter nach Okoř.

Fazit

Die vorgestellte Lösung zur Ableitung von Regenwasser wird auf technische Ergebnisse, insbesondere eine detaillierte Höhenüberprüfung aller Kanäle im Planungsgebiet gestützt. Alle Bestandteile der technischen Infrastruktur wurden im Hinblick auf Lage und Höhe geprüft und abgestimmt. Die Lagenabstimmung wurde besonders sorgfältig durchgeführt, damit die geplanten Baureihen und Solitärbäume im vollen Umfang umgesetzt werden können. Alle Experten haben an diesem Projekt eng zusammengearbeitet. Dadurch wird die Sicherheit gestärkt, dass der Entwurf vollständig umgesetzt werden kann und dass es in Verbindung mit der Planung anderer Projektteile möglich sein wird, trotz ungünstigen Ausgangsbedingungen das ökologische Gleichgewicht im Gebiet sicherzustellen.

WASSER, WASSERLÄUFE UND -ELEMENTE ALS ERSCHEINUNGSBILD DER STADT

Tomáš Pavlovský¹⁰

D

In den 1990er Jahren beginnen die tschechischen Städte, ihr Verhalten gegenüber Wasserläufen und -elementen im Gebiet der Stadt langsam zu ändern. Wasser als vollwertiges Umfeld und den Geist der Stadt bildendes Grundelement erfährt eine allmähliche Rehabilitation. Tschechische Dörfer und Städte fangen an, ihren öffentlichen Raum mithilfe von Wasserelementen – Springbrunnen, Wasserspielplätzen, Trinkbrunnen – wiederzubeleben. Sie beginnen, Uferpromenaden an natürlichen und künstlichen Wasserläufen zu errichten. Zu Beginn des 21. Jahrhunderts suchen tschechische Städte nach ihrem Bild, ihrem Image. Viele Kommunen haben bereits begriffen, dass Wasserelemente in den Straßen und auf Marktplätzen ein hohes Potential aufweisen, und versuchen, diese als einen integralen Bestandteil des öffentlichen Raums zu gestalten. Solche Städte stellen oft eine Inspiration für andere Kommunen dar, die bisher keinen Mut hatten, mit Wasserelementen zu arbeiten und diese im öffentlichen Raum zu verwenden.

Einleitung

Städte in Tschechien haben sich seit 1990er Jahren signifikant verändert, und zwar in jeder Hinsicht, d. h. in Bezug auf Gesetzgebung, Bauanlagen, territoriale Entwicklung, Sozialstruktur der Bevölkerung in Siedlungen, Verkehrsentwicklung, Folgeeinrichtungen u. v. a. Bis 2000 war dies eine eher überstürzte, konzeptlose Entwicklung ohne definierte Grenzen und Ziele. Eine schnelle Umsetzung ausländischer städtebaulicher Lösungen, Typbauten und Konstruktionsdetails. Bei der Werkstoffwahl und Formgestaltung von öffentlichen Flächen und Gebäuden stand mehr ein günstiger Anschaffungspreis als die Qualität im Vordergrund. Es war eine Zeit des Suchens. Einzelne Städte haben ihre Qualität und Ausrichtung bereits zu dieser Zeit gefunden, aber dies sind eher Ausnahmen. Als solche Beispiele können die Stadt Litomyšl und ausgewählte Stadtteile in Prag genannt werden.

Nach dem Jahr 2000 haben sich schon einige Städte mit einer bestimmten Vision auf die Suche nach einem Stadtkonzept, Erscheinungsbild, Image gemacht. Dies spiegelte sich vor allem in der Erstellung neuer Stadtlogos und graphischer Handbücher der Städte, in der Revitalisierung des Stadtmobiliars, Erneuerung von Parkanlagen. Zu dieser Zeit sind auch viele neue Spielplätze für Kinder entstanden. Hier ist darauf hinzuweisen, dass es sich dabei um relativ kleine Eingriffe handelte, die während einer Wahlperiode fertiggestellt werden konnten.

Erst in den letzten Jahren hat man begonnen, sich mit mehr komplexen und zeitaufwändigen Projekten zu beschäftigen, von denen viele von der Europäischen Union mitfinanziert werden. Dabei geht es vor allem um die Entwicklung langfristiger Konzepte von Städten und Gemeinden, um zeitaufwändige Projekte wie Revitalisierung von Gewässern in Innenstädten und in Außenbereichen von Städten, Revitalisierung von Brachflächen, Neugestaltung der wichtigsten öffentlichen Räume in Städten, Marktplatzsanierungen. Die oben erwähnten Projekte weisen in der Regel schon professionelle Parameter auf, es gibt dabei Kommunikation mit der Öffentlichkeit, deren Einbindung, öffentliche Workshops finden statt, Wettbewerbe werden ausgeschrieben und anschließend durch Experten ausgewertet, Bauunternehmen werden sehr sorgfältig gewählt, die Bauausführung selbst unterliegt der Aufsicht des Autors und der Planer sowie der Vertreter der Kommune. Aus heutiger Sicht findet man dieses Vorgehen selbstverständlich, in der jüngeren Vergangenheit war es jedoch nicht.

Auf der Suche nach dem Stadtbild

Städte und Dörfer suchen ihr Image, ihre PR. Sie wollen auf sich aufmerksam machen, auffallen, Stadt- bzw. Dorfbewohner anziehen oder sich diese erhalten. In den 1990er Jahren haben viele Gemeinden an ihrer Bedeutung verloren – es ist zu einem starken Niedergang der gesamten Industrie in der ehemaligen Tschechoslowakei gekommen. Einige Städte haben ihre Haupteinnahmequelle verloren, dabei handelte es sich in erster Linie um die mit dem Stein- und Braunkohleabbau verbundenen Städte. Es findet ein absoluter Wandel der Gesellschaft und der Stadt selbst statt. Es war ein Schock, ein Wendepunkt, Hoffnungslosigkeit. Einige Städte haben sich von diesem

¹⁰ Ing. arch. Tomáš Pavlovský, Ph.D., Ústav architektury FAST VUT Brno

Wandel bis heute nicht erholt, sie sind damit immer noch beschäftigt und werden sich auch in den kommenden Jahren damit auseinandersetzen. Die Transformation steht jedoch fest, und es wird die Richtung bzw. der Weg gesucht, dem das Dorf bzw. die Stadt folgen soll. Einige Städte oder Regionen werden vom Staat und der EU erheblich gefördert, denn ohne diese finanzielle Förderung und Aufklärung wäre eine weitere Entwicklung nicht möglich. Dies gilt vor allem für die Region Ostrava, wo gegenwärtig der Schwerpunkt auf der Entwicklung der Stadt durch Humanressourcen, auf dem Aufstieg von Universitäten und auf der besseren Bildung der Bewohner liegt. Erst in zweiter Linie handelt es sich um die "steinerne" Stadt.

In den letzten fünf Jahren sind öffentlicher Raum und Nachhaltigkeit zu Einflussfaktoren geworden, die das Image einer Stadt steigern können. Bürgermeister/-innen haben angefangen, diese Konzepte zu "branden" und sie bei Wahlversammlungen zu verkünden; in Wahlversprechen wird oft über neue Entwürfe des öffentlichen Raums und über Nachhaltigkeit geschrieben. Viele von ihnen haben mit diesen Slogans die Wahlen gewonnen. Sie sind jedoch nicht wirklich darauf eingegangen, was diese Begriffe bedeuten. Ein unbenannter öffentlicher Raum ist nur eine imaginäre Menge aller städtischen Räume. Es ist notwendig, den Raum direkt zu benennen: Stadtplatz, Straße, Flussufer, Parkanlage, Ecke, Hofraum u. a. Der andere Begriff, nämlich "nachhaltige Entwicklung" stellt für die meisten Laien und Experten nur die technische Lösung eines Problems dar. Der Inhalt des Begriffs ist jedoch viel komplexer. Vereinfacht gesagt geht es in erster Linie nicht um Technologie, sondern darum, die Denkweise der menschlichen Gesellschaft zu verändern. Obwohl Politiker mit diesen Begriffen um sich werfen, ist es heutzutage leider immer noch eine Art Utopie; im Grunde genommen geht es immer noch um den unmittelbaren finanziellen Gewinn, nicht um Nachhaltigkeit in ihrem Wesenskern.

Wichtig für böhmische und mährische Städte ist jedoch, dass sich das Lebensumfeld der Einwohner verbessert, und dies ist nachweisbar. Städte investieren erhebliche Mittel in die Instandhaltung und Verbesserung der Infrastruktur und öffentlicher Räume wie Straßen und Stadtplätze. Jede Stadt möchte sowohl für ihre Bürger als auch für ankommende Touristen und Geschäftsleute attraktiv sein. Städte suchen nach ihrem eigenen spezifischen Image, das sehr oft auf lokalen Traditionen basiert, oder versuchen, etwas Neues, Spezifisches, Attraktives zu schaffen. Denkt man an einige tschechische Städte und versucht man, ihnen Wörter zuzuordnen, die uns unmittelbar in den Sinn kommen, so wird dadurch meistens das äußere Bild der Stadt, das von der Stadt gegenüber Dritten gepflegte Image beschrieben. Beispielweise Zlín – Baťa, Ostrava – Bergbau, Pardubice – Lebkuchen, Plzeň – Skoda-Werke. In Tschechien gibt es nicht viele Städte, deren Image auf einem Wasserlauf oder Wasserspiel begründet ist. Es gibt solche, auf den ersten Blick sind es aber nicht viele, obwohl Wasser ein starkes kreatives Element ist. Wenn man darüber nachdenkt, tauchen Städte auf, die mit Wasser verbunden sind: Litovel – mährisch Venedig, Český Krumlov (Böhmisch Krumau) – Flusswanderungen, Karlovy Vary (Karlsbad) – Heilquellen und Kurstadt, Mělník – Zusammenfluss Elbe-Moldau, Prag – Moldau, Písek – die älteste Steinbrücke. Es gibt nicht viele Städte mit einem äußeren Wasserbild, aber sie sind da und deren Zahl wächst. Dabei geht es zunächst eher um das Innenbild der Stadt, also das von Bewohnern wahrgenommene Bild, und dieses wächst allmählich zu einem Außenbild heran. Als Beispiel können Brunnen in Pilsen genannt werden, die von ihrer Form, Größe und Symbolik her die Grenzen der Stadt überschreiten. Schon die Vorbereitung und die anschließende Umsetzung der Brunnen haben den hohen Ansprüchen an Lösungen für den öffentlichen Raum entsprochen. Die Fachjury hatte im Wettbewerb aus 42 Entwürfen auszuwählen, der Gewinnerentwurf wurde vom Architekten Ondřej Cisler abgegeben. Schon durch diese schwierige Wahl war die Qualität gewährleistet, was sich dann auch bei der Ausführung bestätigte. Drei Brunnen in stilisierten Formen stellen das Wappen von Pilsen dar – Windhündin, Engel und Kamel. Die Brunnen sind eigentlich stehende Wasserspeier, wobei die separaten Symbole als vertikale Elemente in Goldfarbe ausgeführt sind. Die Gefäße, in die das Wasser fällt, bestehen aus schwarzem Granit. Somit erfüllen die Brunnen, auch wenn sie kein Wasser sprudeln, eine ästhetische Funktion. Dies war auch früher bei Brunnen der Fall. Dieses Wasserspiel ist seit 2010 in Betrieb und hat sich bereits zu einem festen Bestandteil des Pilsener Hauptplatzes und zugleich zum Igemacher der Stadt entwickelt.

Die Stadt Prag hat begonnen, ihr Ufergebiet zu sanieren. Das historische Gesamtbild der Stadt kann zwar durch das Prager Ufergebiet nicht übertroffen werden, dieses stellt aber eine Inspirationsquelle für andere tschechische Städte dar. Dies ist wahrscheinlich der größte Beitrag der Prager Uferstraßen. Die tschechischen Städte lassen sich

jetzt von Prag inspirieren und versuchen eigene Uferstraßen zu errichten. Ein Beispiel dafür ist die Stadt Brunn, die den Uferdamm am Fluss Svatka baut. Es ist überraschend, dass alle reifen Bäume entlang des Ufers gefällt werden mussten, um ein natürliches Ufergelände zu schaffen, aber das ist ja Brunn. Einzelne kleinere Städte haben zwar früher als Prag ihre Flussufer hergerichtet, deren Einfluss wird nie so groß sein wie der Einfluss einer Großstadt.

Die Stadt Bojkovice hat ihren neuen Hauptplatz an den Fluss platziert, wobei der Fluss eine der Platzkanten bildet. Der Zugang zum Wasser erfolgt über Aufenthaltstreppe mit Spielelementen. In der Mitte des Platzes ist ein vertikales, den Zusammenschluss benachbarter Gemeinden darstellendes Wasserspiel aufgestellt. Die Stadt Bojkovice hat ihr mit dem Wasser verbundenes Image 2015 festgelegt.

Es gibt viele Wasseranlagen – Brunnen, Pumpen, Teiche, Feuerlöschbecken, Wassergräben, Zuleitungskanäle, Trinkbrunnen – diese Elemente vervollständigen das Aussehen von Innenstädten und Dörfern. Sie müssen nicht das Gesamtbild der Stadt gestalten, sondern nur Bild von einzelnen Stadtteilen – Stadtvierteln, Winkeln, Plätzchen, Dorfplätzen. Wasserelemente formen den Genius Loci eines Ortes – den Geist des Ortes. Und es muss nichts Großes, Erstaunliches, Überwältigendes sein. Eine freistehende gusseiserne Pumpe in einem kleinen Dorf hat ihren eigenen Charme und verleitet zum Pumpversuch, um festzustellen, ob sie funktionstüchtig ist, ob man sich erfrischen kann. Sie fordert zur natürlichen Aktivität auf, zum Anhalten. Sogar ein dörfliches Feuerlöschbecken prägt den Geist des Ortes, es ist ein natürlicher Standort für verschiedene Aktivitäten – Menschen können sich dort treffen, am Ufer sitzen, Kinder können dort kleine Fische wildern. Derzeit werden diese kleinen Wasserbecken revitalisiert und deren Beitrag wird positiv verstanden. Es versteht sich von selbst, dass das Bild eines Dorfes nicht auf einem Ententeich basieren kann, eine Wasserfläche trägt jedoch positiv zum Bild eines Dorfes bei.

Die wohl größte Schwäche der tschechischen Gemeinden sind ungepflegte Wasserstraßen: mitten in Städten und Dörfern verlaufen Wassergräben, Zuleitungskanäle, Bäche, deren Potenzial nicht genutzt wird. Noch immer ähneln Wasserläufe dort eher "schwarzen" Abwasserleitungen als einem Ort für Spaziergänge, Ort der Entspannung und Gemeindeentwicklung. Oftmals verstehen die Bürger selbst diese kleinen Bäche und Kanäle nicht als das verborgene Potenzial der Stadt bzw. des Dorfes. Sie sprechen von diesen Wasserstraßen als von einer latenten Überschwemmungsgefahr und nicht als von einer Chance zur Verbesserung des öffentlichen Raums in ihrer Gemeinde. Und hier sollten die gewählten Gemeinderäte und Bürgermeister helfen und mit Geduld erklären, wie die natürliche grüne Infrastruktur in der Innenstadt genutzt werden kann.

Schlussfolgerung

Die böhmischen und mährischen Städte haben das verborgene Potenzial der in ihrem Gebiet befindlichen Wasserstraßen und -flächen bisher nicht genutzt. Wir haben noch nicht einmal annähernd die Hälfte der Wasserstraßen, Zuleitungskanäle und Wassergräben erreicht, die sich im Mittelalter auf dem Gebiet tschechischer Städte befanden. Das wird uns allerdings nie wieder gelingen. Viele Jahre lang haben wir Wasser als notwendige, nützliche Flüssigkeit verstanden, nicht als die echte Quelle des Lebens, und zwar nicht nur des physischen, sondern des geistigen und kulturellen Lebens. Die Kommunen fangen nun an, zu verstehen, dass Wasser in der Innenstadt oder im Dorf für die Gemeinde in vielerlei Hinsicht von Vorteil ist - in Bezug auf Gesundheit, grüne Infrastruktur, Ästhetik, als natürliche Fußgängerzone entlang der Wasserstraße, als Treffpunkt, zur Schaffung von Genius Loci. Wasser wird nicht mehr als große Bedrohung, sondern als Chance gesehen. Die Kommunen beginnen Wasserspiele in ihre Pläne einzubeziehen, und legen Wert auf eine bessere und mehr transparente Kommunikation mit den Bewohnern – öffentliche Workshops, offene Wettbewerbe u. ä. Dank dieser Aktivitäten verstehen die Menschen das Problem besser und nehmen an Dorf- bzw. Stadtveranstaltungen aktiv teil, wollen an der Verbesserung des Lebens um sie herum beteiligt sein und identifizieren sich vor allem mit einer aktiven Einstellung zum Leben in ihrem Dorf bzw. ihrer Stadt.

Zusammenfassend kann man sagen, dass Städte, die ihr Wasserpotenzial beleben, bei Bewohnern und Besuchern attraktiver und gefragter sind. Investitionen in den Bau von Wasseranlagen und Herrichtung von Flussufern lohnen sich für die Städte.



Abb. 1 Brunnen "Engel" in Pilsen, Winter (Foto T.Pavlovský)

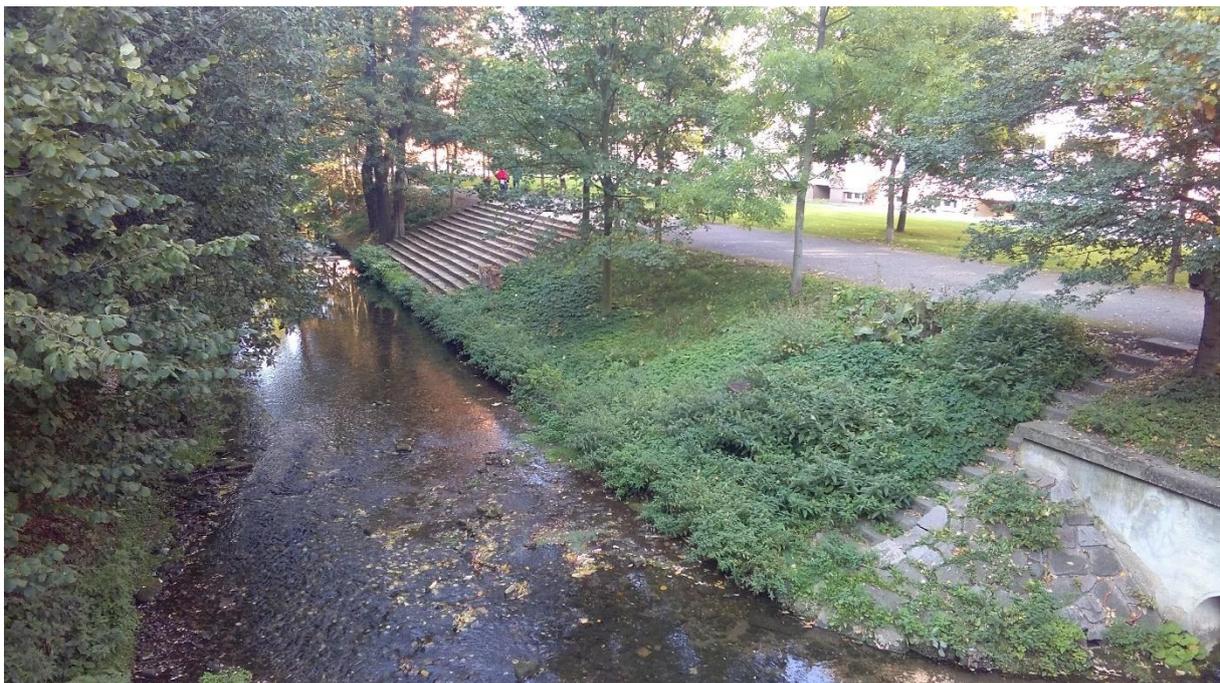


Abb. 2 Uferstraße in Litomyšl (foto T. Pavlovský)



Abb. 3 Wasserspiegel, Litomyšl (Foto T. Pavlovský)

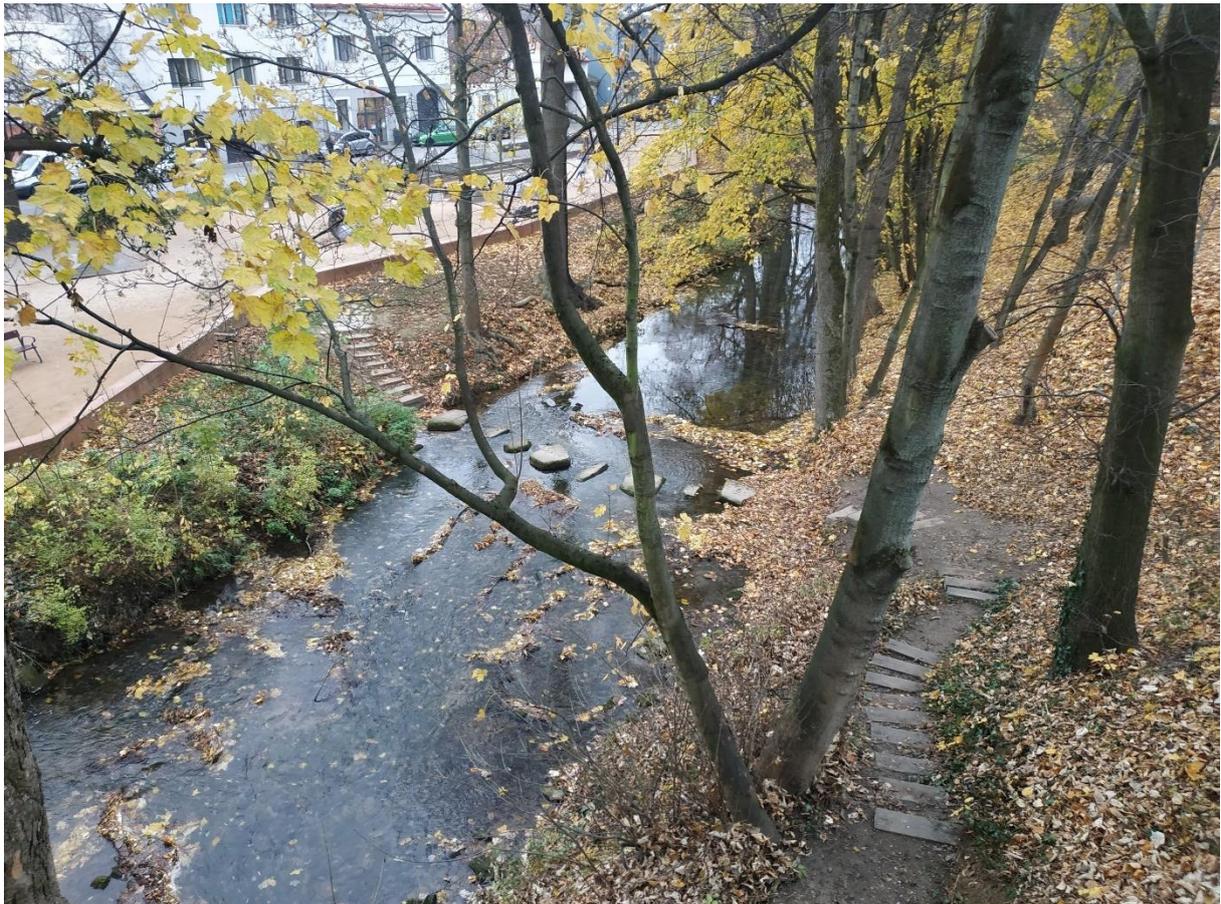


Abb. 4 Trittsteine im Fluss, Litomyšl (Foto T. Pavlovský)



Abb. 5 Vertikaler Springbrunnen, Bojkovice (Foto T. Pavlovský)



Abb. 6 Uferpromenade, Bojkovice (Foto T. Pavlovský)

Literaturnachweis

- [1] Schmeider, K. et al. *Sociologie v architektonické a urbanistické tvorbě (Soziologie im architektonischen und städtebaulichen Schaffen)*. Z. Novotný: Brno 2001. ISNB 80-238-6582-X.
- [2] Hertzberger, H. *Přednášky pro studenty architektury (Vorlesungen für Architekturstudierende)*. Mox Nox: Dolní Kounice 2012. ISNB 978-80-905064-0-4.
- [3] Hrůza, J. *Svět měst (Welt der Städte)*. Academia: Praha 2014. ISNB 978-80-200-1808-3.
- [4] Vondruška, V., Vondrušková, A. *Město (Stadt)*. Vyšehrad: Praha 2013. ISBN 978-80-7429-346-7.
- [5] Fialová, I. (ed.) *Architektura a současné město (Architektur und zeitgenössische Stadt)*. Zlatý řez: Praha 2016. ISNB 978-80-88033-02-8.



studijní program **MĚSTSKÉ INŽENÝRSTVÍ**

▪ **Charakteristika programu:**

- program je zaměřen na problematiku veřejné infrastruktury, tj. technické a dopravní infrastruktury, veřejných prostranství a občanského vybavení města,
- specializace poskytuje studentům ucelený soubor znalostí z teorie stavby měst a sídel, technické infrastruktury a ekonomické oblasti.

▪ **Uplatnění absolventa:**

- při provádění řízení v přípravných fázích investičního procesu a inženýrské činnosti,
- pořízování územně plánovacích podkladů, v oblastech plánování, výstavby, rekonstrukcí, údržby a zajištění provozu měst a obcí,
- v aparátu veřejné správy,
- ve firmách zabývajících se investorskou, inženýrskou a projektovou činností,
- v administraci.

Fakulta stavební, Vysoké učení
technické v Brně
Veveří 331/95
602 00 Brno

**Dny otevřených dveří se konají vždy v listopadu
a lednu**

<https://www.fce.vutbr.cz/pro-studenty/studijni-programy/mestske-inzenyrstvi>

Studuj městské inženýrství!

ROZHODOVÁNÍ
PLÁNOVÁNÍ



ŘÍZENÍ

PROJEKTOVÁNÍ

100% uplatnění na trhu práce

Spousta uchazečů o vysokoškolské studium si možná pod stavební fakultou představí ryze technické obory a studia spojená s matematikou a fyzikou. Málokterý uchazeč však slyšel o specializaci i studijním programu Městské inženýrství, které v sobě ukrývá problematiku rozhodování o umístování staveb a řešení zásobování území vodou, elektřinou, plynem, odkanalizování, apod. Pro řešení těchto problémů je nutné znát všelijaké technické i netechnické možnosti v území, skladbu a potřeby obyvatelstva i legislativu. Vědní obor se zabývá životním prostředím a krajinou. Pohled je zaměřen nejen do okolí budov, ale také do interiérů, kdy je nutné respektovat předpisy tak, aby se např. matka s dítětem v kočárku dopravila až k cíli a v cestě nebránil schod nebo úzké dveře. Jde tedy o velmi rozmanitý vědní obor, jehož absolventi získávají velmi zajímavá pracovní místa ve státním i soukromém sektoru. Velmi často se stávají vedoucími útvarů a úseků, výrobními a obchodními řediteli, apod. Dle statistik 100% našich absolventů našlo své uplatnění na pracovním trhu. Městské inženýrství a stavitelství lze studovat na Fakultě stavební, VŠB-TUO ve formě bakalářského, magisterského i doktorského studia.

*Heizen mit Eis.
Kannst du dir nicht
ausdenken?*

Ich schon.



DIE AUSDENKER

*Deutschlands beratende
Ingenieurinnen und Architekten*

