

TAGUNGSREADER

**Internationaler
FGSV-Online-Expertenworkshop
am 29./30.10.2020**

**INNOVATIVE ERFASSUNGSMETHODEN
IN UMWELT- UND NATURSCHUTZ
FÜR PLANUNG, BAU UND BETRIEB
VON INFRASTRUKTURANLAGEN**

Internationaler FGSV-Online-Expertenworkshop am 29./30.10.2020

INNOVATIVE ERFASSUNGSMETHODEN IN UMWELT- UND NATURSCHUTZ FÜR PLANUNG, BAU UND BETRIEB VON INFRASTRUKTURANLAGEN

Zielstellung

Im Rahmen eines Expertenworkshops der FGSV im Webkonferenz-Format wurde ein möglichst umfassender Überblick über innovative Erfassungsmethoden verschiedener Anwendungsfelder gewonnen. Die Ergebnisse fließen in das Regelwerk der FGSV ein (z.B. Hinweise zu technischen Sonderlösungen für landschaftspflegerische Maßnahmen im Straßenbau, Hinweise zu innovativen Erfassungsmethoden im Straßenbau). Die Ergebnisse des Workshops werden in diesem Tagungsreader dokumentiert. **Blaue Beiträge** bilden keinen ausgearbeiteten Textbeitrag ab. Hier sind im Reader die Folien des Vortrags abgebildet.

Moderation

Dr. Sven Reiter, Landesamt für Straßenbau und Verkehr MV

Schriftleitung

Florian Rottig, Dr. Sven Reiter

Themen des Expertenworkshops

Block 1: Einführung

Mehrwert von innovativen Methoden, Schnittstelle Mensch und Maschine

Dipl.-Geogr. Dr. Sven Reiter, Landesamt für Straßenbau und Verkehr MV

Vorstellung des angewandten Forschungsprojektes „Handbuch technische Sonderlösungen für landschaftspflegerische Maßnahmen (HTSL)“

Dipl.-Biol. Falk Ortlieb, Ökologische Dienste Ortlieb, Rostock

Ökologischer Sachverstand als Voraussetzung für die Interpretation innovativer, technikbasierter Erfassungsmethoden

Dipl.-Biol. Falk Ortlieb, Ökologische Dienste Ortlieb, Rostock

Innovative Erfassungsmethoden im europäischen Gebietsschutz und besonderen Artenschutz – Rechtssicherheit und Verwertbarkeit in Planungsverfahren

Dr. Marcus Lau, Rechtsanwalt und Fachanwalt für Verwaltungsrecht, Leipzig

Naturschutzgenetik - Einsatz genetischer Methoden im Amphibienschutz

M.Sc. in Biology; Ecology & Evolution Fabian, Hofmann, ARNAL, CH Herisau

Block 2: Untersuchungen mit Umwelt DNA

Identifizierung von Amphibien und Fischen in aquatischen Systemen anhand von eDNA

M.Sc. Biologie, M.Sc. Naturschutz und Landschaftsplanung Patricia Holm, Identme, Hochschule Anhalt

Feldhamstererfassung mit klassischer und genetischer Methode

B. Sc. Leonard Adler, ANUVA Stadt- und Umweltplanung GmbH

DNA-Metabarcoding - Auswertung von Insektensamples

Dr. Corinna Wallinger, Sinsoma, Innsbruck

Bekanntheit und Nutzung von eDNA im Bereich Umweltplanung in Deutschland

M.Sc. cand. Klara Hengst, TU Berlin

Block 3: Innovative Erfassungsmethoden

Drahtlose Sensornetzwerke zur automatisierten Telemetrie von Wirbeltieren

Dr. Simon Ripperger, Museum für Naturkunde, Berlin

Pheromondetektion zum Nachweis von Neunaugen in Fließgewässern

Dr. Annick Garniel, Kieler Institut für Landschaftsökologie

Akustische Vogelerfassung und automatisierte Artbestimmung

Dr. Hendrik Reers, OekoFor GbR, Freiburg i. Breisgau

Block 4: Erfassung von Flora / Vegetation

Drohngestützte Erfassung der Vegetation und ihrer bestandsbildenden Pflanzenarten

Dr. Maike Heuner, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz

Wurzeldetektion von Alleebäumen mit Radar

Dipl.-Ing. Karsten Kriedemann, Kriedemann Umweltplanung, Schwerin

Pflanzenbestimmung mit Smartphone-App (Flora incognita), Nutzung für die Umweltplanung

Alice Deggelmann, Max-Planck-Institut für Biochemie, Jena

Block 5: Innovative Erfassung für den Betrieb

Vegetationsstrukturerfassung / Baumbestandskontrolle für Vegetationsmanagement mit Drohnen, Grenze der Methode, Überprüfung via Geländearbeiten
Felix Gerhardt, DB Netz AG

Automatisierte, KI-basierte Kartierung invasiver Neophyten an Schweizer Nationalstraßen

Dr. Michael Nobis, Swiss Federal Research Institute WSL

ÖBB: Laserscanning von Vegetation

Dipl.-Ing. Erik Pinter, ÖBB-Infrastruktur AG, Wien

Baumbewegungssensor TMS (Tree Motion Sensor) zur Überprüfung der Standfestigkeit

Arborist B. Sc. Kilian Wiegmann, Argus Electronic, Rostock

Resümee

Fortschreibung der Standards faunistischer Erfassung im Straßenbau

Dipl.-Biol. Klaus Albrecht, ANUVA Stadt- und Umweltplanung GmbH

Block 6: Innovative Erfassung intelligenter Verkehrssysteme

„BlueGreenStreets“ - von innovativen Bau(m)techniken und anzupassenden Verfahren

Tomke Voß, Hafen City Universität Hamburg

Innovativer Lärmschutz an Straßen - Lärmreduzierungsplatten für den Straßenrand

Dr. Wolfram Bartolomaeus, Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)

Zur Integration von BIM und GIS aus Sicht der Landschafts- und Umweltplanung

Dr. Johannes Gnädinger, PSU UmweltConsult München

Landschaftsplanung und BIM: Zum Verhältnis von Konfliktanalyse und Kollisionsprüfung

Dr. Johannes Gnädinger, PSU UmweltConsult München

Block 7: Innovative Erfassungen Abiotik

Mikroklimaerfassung mit Drohnen zur habitatorientierten Reptilienkartierung

Dipl.-Biol. Falk Ortlieb, Ökologische Dienste Ortlieb, Rostock

Luftschadstofffassung mit der Drohne - Projekt MesSBAR

Dipl.-Chemiker Dr. Julian Rüdiger, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

Block 8: Innovative nichttechnische Erfassungen

Vorstellung des Projektes Artenspürhunde am Beispiel der Zauneidechse

Dr. Michael Schmitt, DB Netz AG, München

Veranstaltungen in Rahmen von „Citizen Science“ zur Erfassung des
Artenspektrums (Bioblitze)

Gaby Schulemann-Maier, Naturgucker.de

Planungsansätze auf höheren Skalen

M.A. Marie Grimm, TU Berlin

Dr. Sven Reiter & Florian Rottig

(Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern)

1.1 Einführung in die Thematik / Organisation des Webinars

Vom 29. bis 30. Oktober 2020 lud der FGSV-Arbeitskreis 2.9.5 *Technische Sonderlösungen für landschaftspflegerische Maßnahmen im Straßenbau* unter der Federführung des Ak-Leiters Hrn. Dr. Sven Reiter zum ersten FGSV-Expertenworkshop bzgl. *innovativen Erfassungsmethoden in Umwelt- und Naturschutz für Planung, Bau und Betrieb von Infrastrukturanlagen*, ein. Auf der zweitägigen Online-Veranstaltung referierten knapp dreißig Experten aus den unterschiedlichsten Fachbereichen. Unterstützung kam aus den Reihen der FGSV-Geschäftsstellen von Fr. Ellen Höfer und Fr. Katharina Vegelahn, sowie Hrn. Florian Rottig aus dem Landesamt für Straßenbau und Verkehr M-V.

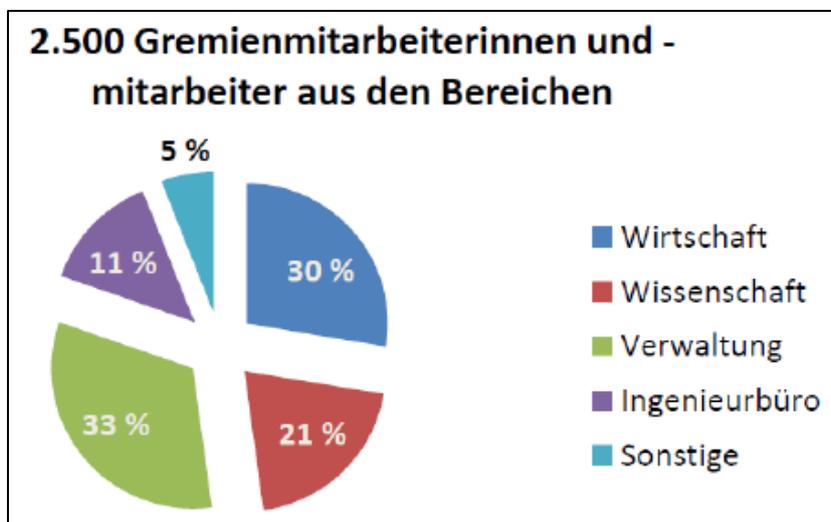


Abb. 1: Herkunft und Verteilung der FGSV-Gremienmitarbeiter (FGSV o.J.)

1.2 Der Arbeitskreis 2.9.5 der FGSV

Die FGSV wurde 1924 als gemeinnütziger, technisch-wissenschaftlicher Verein gegründet. Sie hat sich das Ziel der Weiterentwicklung der technischen Erkenntnisse im gesamten Straßen- und Verkehrswesen gesetzt. Hierfür finden u.a. enge Kooperationen mit dem BMVI und der BASt statt. Die FGSV erstellt Regelwerke für das Straßen- und Verkehrswesen in ganz Deutschland. Insgesamt engagieren sich rund 2.500 Gremienmitarbeiter (Abb. 1) in insgesamt 8 Lenkungsausschüssen, darunter ca. 65 Arbeitsausschüsse mit ca. 170 Arbeitskreisen. Der Arbeitskreis 2.9.5 *Technische Sonderlösungen für landschaftspflegerische Maßnahmen im Straßenbau*¹ hat sich das Ziel gesetzt, bei der Realisierung von Infrastrukturprojekten und zum Schutz von Arten oder Lebensräumen, Maßnahmen mit hohem Innovationspotenzial herauszuarbeiten, welche als Sonderlösungen für spezielle Anwendungsfälle dienen können. Die innovativen Ansätze betreffen sowohl innovative

¹ Der FGSV-Ak 2.9.5 wird durch folgende Mitglieder repräsentiert: Leitung: Dr. Sven Reiter - Rostock, Mitarbeiter: Dr. Elke Bruns - Berlin, Conrad Graf - Rostock, Marie Grimm - Berlin, Holger Hagemann - Greifswald, Prof. Dr. Johann Köppel - Berlin, Anne Lenk - Frankfurt a. M., Martina Lüttmann - Berlin, Matthias Mähliß - Frankfurt a. M., Falk Ortlieb - Rostock, Heike Pestka - Bochum, Stephan Renz - Bützow, Florian Rottig - Rostock, Jan Sauer - Bergisch Gladbach, Jonas Schulze - Berlin, Dr. Andreas Sundermeier - Koblenz, Dr. Volker Thiele - Bützow

Erfassungsmethoden als auch innovative technische landschaftspflegerische Maßnahmen² – LPM (vgl. HLPM 2013). Diese Lösungen können somit zukünftig nach jeweilig projektspezifischer Anwendungsprüfung bei den landschaftspflegerischen Maßnahmen, als auch bei den Erfassungsmethoden im Straßenbau Verwendung finden. Hierbei ist zu beachten, dass teilweise die innovative Erfassung mit bestimmten Maßnahmen funktional verknüpft ist (z.B. Detektion anfliegender Vögel und Abschaltvorrichtungen technischer Anlagen).

Das angestrebte Ergebnis des Arbeitskreises ist die Erstellung eines W 2, ggf. W 1 Hinweispapiers als FGSV-Publikation.

Darüber hinaus sollen Impulse generiert werden, um u.a. Empfehlungen für die Novellierung der HVA F-StB „Handbuch für die Vergabe und Ausführung von freiberuflichen Leistungen im Straßen- und Brückenbau“ zu liefern und innovative Erfassungsmethoden als Standardmethoden oder Alternativmethode in das Regelwerk zu übernehmen.

Weiterhin sollen die Beiträge zu Erweiterungen der FGSV-Postersammlung mit ihren zahlreichen Fachthemen (s. Abb. 2) beitragen und auf der Landschaftstagung 2022 in Weimar präsentiert werden.

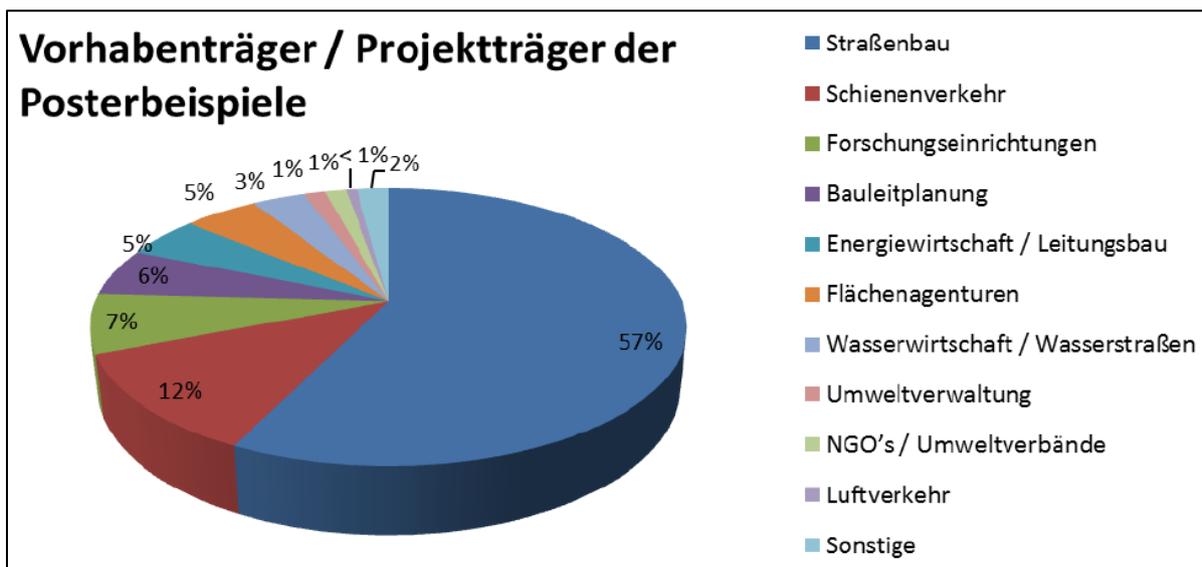


Abb. 2: Vorhabenträger / Projektträger der Posterbeispiele.

Seit 2011 präsentiert der AK 2.9.6 "Landschaftspflegerische Kompensationsmaßnahmen" Beispiele guter fachlicher Praxis der Kompensation und Umweltbaubegleitung auf den FGSV-Landschaftstagungen in einer umfangreichen Posterausstellung. Alle Poster können thematisch nach Schlagworten oder mittels einer Freitextsuche gefiltert werden (vgl. REITER et al 2020). (www.fgsv.de ➤ Wissenstransfer ➤ Poster // bzw.: www.fgsv.de/wissenstransfer/poster.html)

² Landschaftspflegerische Maßnahmen nach H LPM (2013) beinhalten Maßnahmen:

- der Eingriffsregelung (Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen, §§ 13ff. BNatSchG),
- des Schutzes der Natura-2000-Gebiete (Schadensbegrenzungs- und Kohärenzsicherungsmaßnahmen, § 34 BNatSchG),
- des besonderen Artenschutzes [vorgezogene Ausgleichsmaßnahmen (CEF) und Kompensatorische Maßnahmen (FCS), §§ 44f. BNatSchG] und der landschaftsgerechten Gestaltung (§ 2 BNatSchG).

1.3 Ablauf des Webinars und Aufbau des Tagungsreaders

Der Arbeitskreis 2.9.5 wurde im Februar 2020 gegründet und besteht aus 15 festen Mitgliedern und zwei korrespondierenden Mitgliedern. Nach rund einem Jahr Recherche war der Zeitpunkt erreicht vorhandene Synergien zu nutzen und die Fachdiskussion im Rahmen eines Expertenworkshops zu erweitern. Die Beiträge wurden in Form 15-minütiger Kurzreferate vorgestellt. Hierbei fand eine thematische Gliederung des Webinars in folgende acht Blöcke statt, welche auch den vorliegenden Tagungsreader gliedern:

- Block 1: Einführung
- Block 2: Untersuchungen mit Umwelt DNA
- Block 3: Innovative faunistische Erfassungsmethoden
- Block 4: Innovative Erfassung von Flora / Vegetation
- Block 5: Innovative Erfassung für den Betrieb
- Block 6: Innovative Erfassung intelligenter Verkehrssysteme
- Block 7: Innovative Erfassungen Abiotik
- Block 8: Innovative nichttechnische Erfassungen

Am Ende jedes dieser Blöcke schloss sich eine Diskussionsrunde zum jeweiligen Themenschwerpunkt an, welche effektiv zum interdisziplinären Wissensaustausch beigetragen haben. Die Essenz eines jeden Vortrags wurde in einem Beitrag zu diesem Tagungsreader festgehalten.

Ansprechpartner für die Inhalte der Beiträge sind die Referenten.

Quellen:

HLPM: FGSV (2013; Neuauflage 2022 zu erwarten): Hinweise zu landschaftspflegerischen Maßnahmen im Straßenbau, FGSV, Arbeitsgruppe Straßenentwurf, FGSV 248/1.

REITER, S.; BORKENHAGEN, J. & PIEK, S. (2020): Die Postersammlung der FGSV – Ein dynamischer Wissenspool für Best-Practice-Beispiele in der Maßnahmenplanung und -umsetzung. Straßenverkehrstechnik 6.2020: S. 404-409.

Kontakt:

Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern

An der Jägerbäk 3

18069 Rostock

Fax: 0381 122-3500

Website: www.strassenbauverwaltung.mvnet.de

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter

Tel. 0381/122-3270

Sven.Reiter@sbv.mv-regierung.de

Florian Rottig

Tel. 0381/122-3273

Florian.Rottig@sbv.mv-regierung.de

Einführungsblock

Mehrwert von innovativen Methoden, Schnittstelle Mensch und Maschine

Expertenworkshop

Innovative Erfassungsmethoden in Umwelt- und Naturschutz für Planung, Bau und
Betrieb von Infrastrukturanlagen

Dr. Sven Reiter

29/30-10-2020, Online

FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

Strelasundquerung - Rügenbrücke



FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

Fernmeldemeisterei Malchow



FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

3

Intelligente Verkehrsinfrastruktur



Wolfgang Kuhn Zwickau

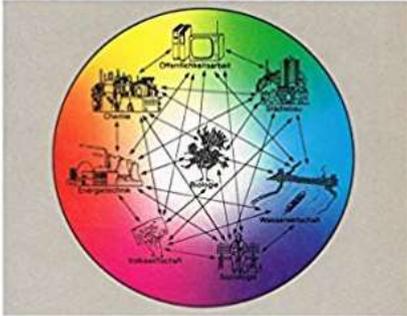
FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

4

Frederic Vester: Unsere Welt – ein vernetztes System

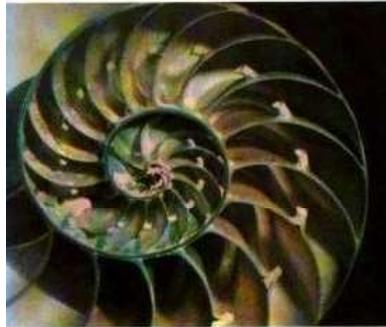


dtv
Sachbuch

FGSV Ak 2.9.5

Frederic Vester: Neuland des Denkens

Vom technokratischen zum
kybernetischen Zeitalter



dtv

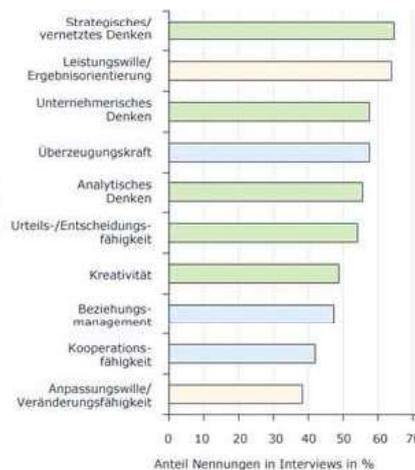
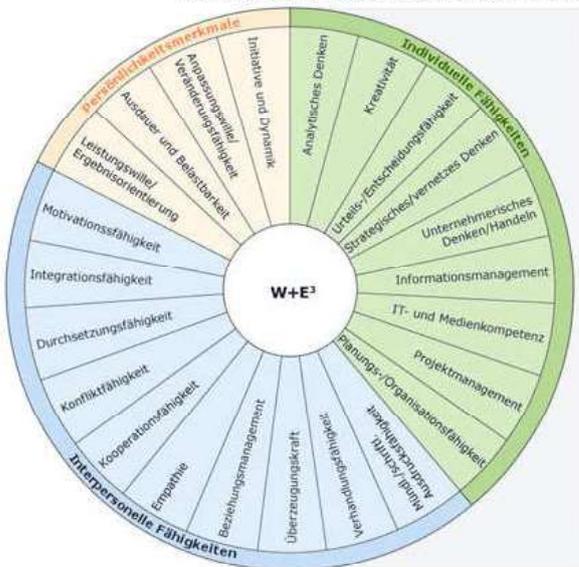
Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

Vernetzung

29./30. Oktober 2020

5

Vernetztes Denken und Ergebnisorientierung sind die am häufigsten verlangten Fähigkeiten.



(Quelle: The Boston Consulting Group 2002)

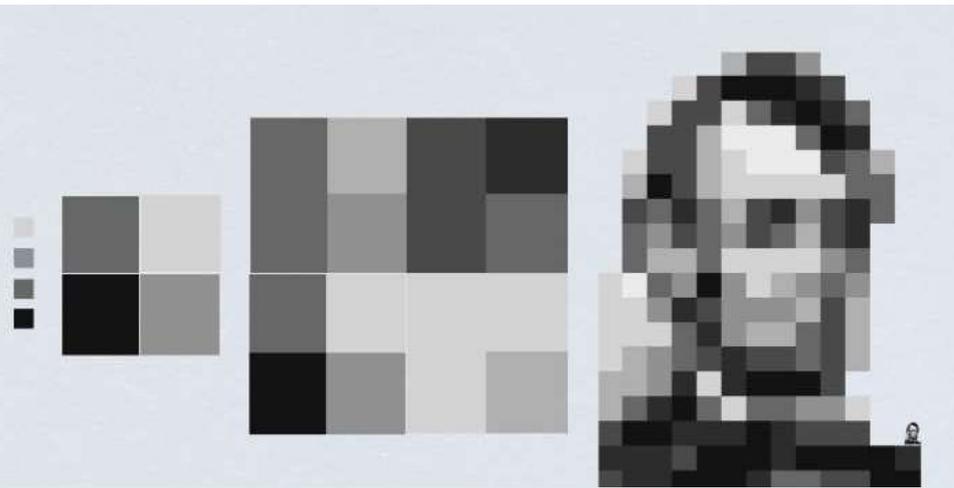
FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

6

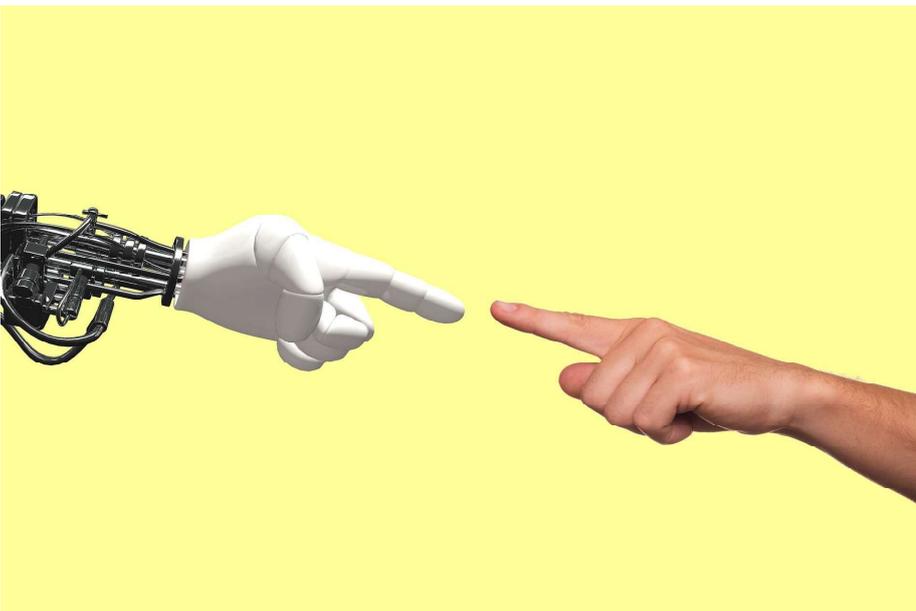
Schnittstellenanalyse / -optimierung



Das Bild lässt sich von nahem nicht entschlüsseln, erst recht nicht, wenn man mit einer Lupe an die einzelnen Quadrate herangeht. Aus größerem Abstand oder wenn man durch Blinzeln die Grenzlinien der Quadrate zum Verschwinden bringt und damit ihr Zusammenhang sichtbar wird, erkennt man plötzlich das Porträt von Abraham Lincoln. Genauso verhält es sich bei verkehrlichen und räumlichen Systemen: Nicht die Kenntnis der Details, sondern erst das Zusammenspiel sämtlicher Systemkomponenten ermöglicht Aussagen über Wirkungen von Maßnahmen.

(nach Frederic Vester)

Schnittstelle Mensch Maschine



Handy / Tablets – Maschine zur Vernetzung SYMBIOTISCHE VERBINDUNG

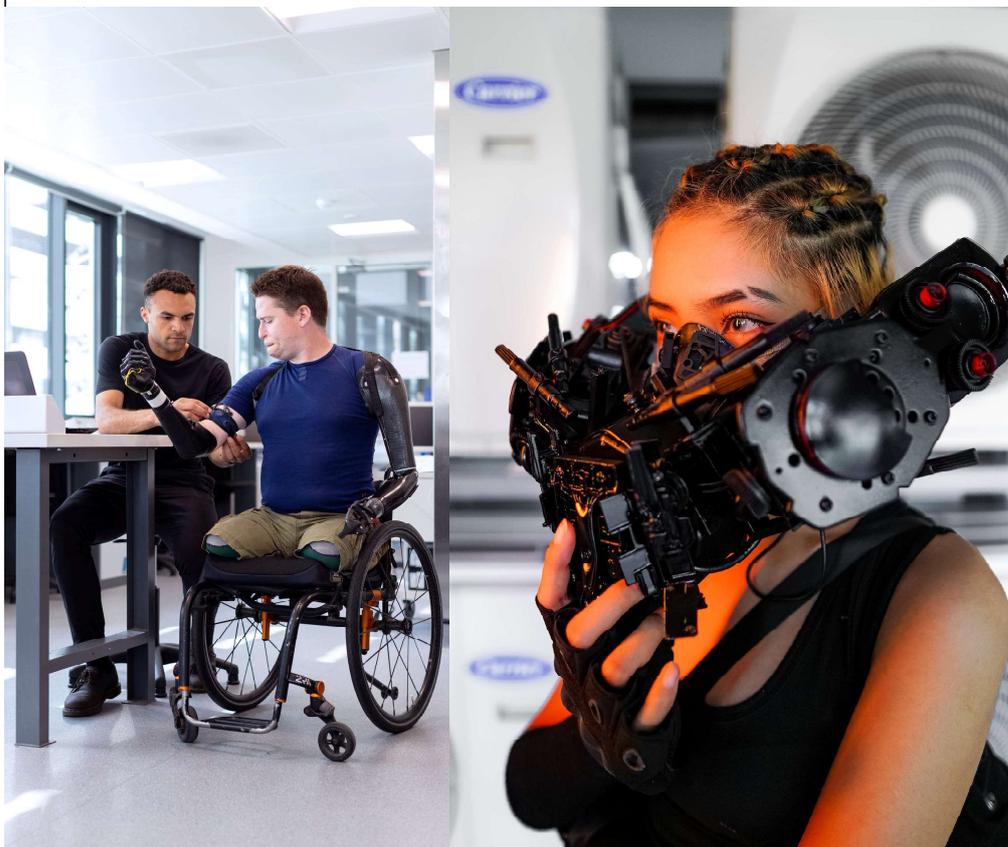


Optimierung der Komponente Mensch
in diesem System

Koffein = natürlicher Pflanzenwirkstoff
+ mehrere 100 Polyphenole

Keine Milch!

antagonistische Wirkung



Von der medizinischen Anwendung
zum Cyborg

Neil Harbisson – Gründer und Präsident der Cyborg Foundation



Cyborg Neil Harbisson

Er hört die Farben im Kopf

Von Christian Werner - 07. August 2013 - 12:13 Uhr

Weil er farbenblind ist, hat Neil Harbisson einen Sensor am Kopf befestigt, der ihm Farben in Töne umwandelt. „Ich kann dir ein MP3 von deinem Gesicht schicken“, sagt er. Die britischen Behörden haben den Sensor auf dem Passbild anerkannt.



Neil Harbisson bezeichnet sich als Cyborg, weil der Farbsensor vor seiner Stirn seine Sinne erweitert.
Foto: Christian Werner

(Quelle: Stuttgarter Zeitung)

By Parentesis99 - Own work. CC BY-SA 4.0
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42814306>

FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

11



Cyborg-Wesen

101_Schädelimplantat:
erhöhtes Erinnerungsvermögen ermöglicht die Verarbeitung verstärkter optischer und akustischer Signale
Direktzugang zum Internet

102_Halsimplantat:
Stabilisierung der Wirbelsäule
integriertes Luftfiltersystem

103_Armprothese:
Wiedererlangung motorischer Fähigkeiten
Exoskelett erhöht Kraft und Ausdauer

104_Künstliches Zwerchfell:
höhere Stabilität und Schutz für den Organraum
Leistungssteigerung durch vertiefte Atmung

105_verstärktes Hüftgelenk:
elektromotor vervielfacht die Schrittgeschwindigkeit
spezielles Schmiermittel sorgt für geringere Abnutzung der Knochen

106_Beinprothese:
kann verschiedensten Aufgabenbereichen und umgebungen angepasst werden

CHIP_IMPLANTATE:
an verschiedenen Körperstellen, vorzugsweise Hand, ersetzen Passwörter und Schlüssel

© Dominik Grunau

12

Erweiterung der Sinne durch innovativen Technikeinsatz



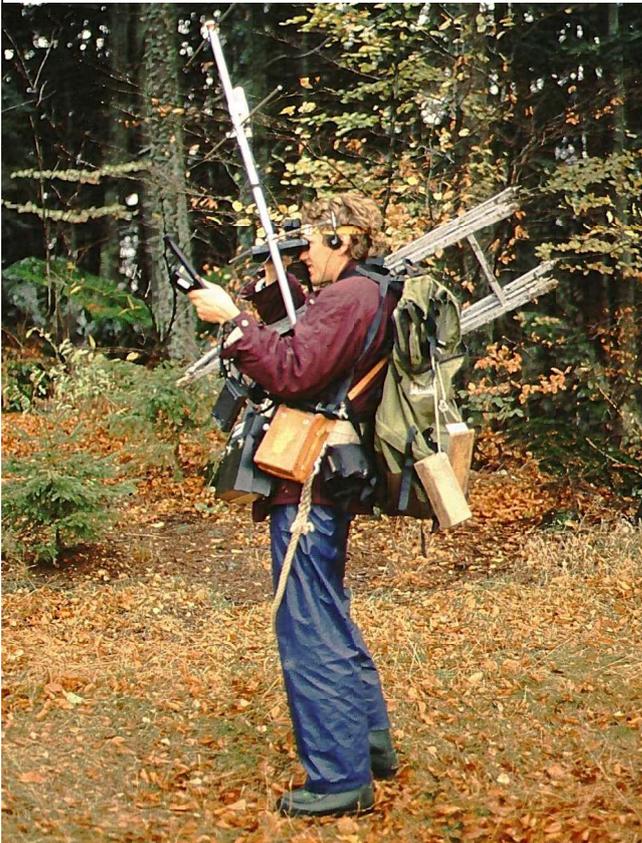
EurProBiol
European Professional Biologist
Dipl.-Biogeograph Heiko Müller-Stieß

FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

13



EurProBiol
European Professional Biologist
Dipl.-Biogeograph Heiko Müller-Stieß

Was man als Freilandarbeiter alles nutzt zur Untersuchung:

- Leiter (zur Erkundung von Baumhöhlen etwas weiter oben), Klettergeschirr (ich kletterte damals, übrigens auch heute noch, bis in die Baumkronen stabiler Bäume) Telemetriegerät und Antenne, Fernglas, Fledermausdetektor, Tonbandgerät (hatte ich damals, heute reicht Smartphone), Richtmikrofon, Rucksack mit Lebendfallen, ein paar Lebendfallen hängen noch außen am Rucksack, Fotoapparat mit Blitz.

14

Mehrwert von innovativen Erfassungsmethoden

Beispiel – OU Wolgast

FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

Radargestützte Zugvogeluntersuchung

DEGES

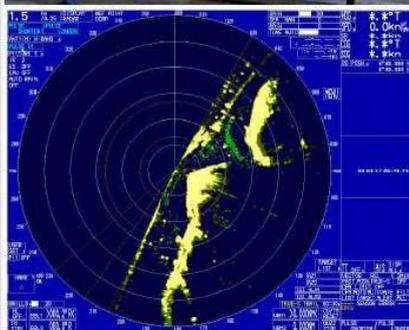


Abb. 7: Beispiel für ein Radarbild, das mit horizontal rotierendem Radarstrahl (Horizontalradar) erzeugt wurde. Die prominenten gelben Strukturen bilden den Verlauf der Uferlinie des Peenestroms und der Einmündung der Sauziner Bucht ab. Bogenförmige grüne Punktreihen mit gelben Punkten am oberen Ende: Vogeltrupp, der die Sauziner Bucht verlässt, um dem Peenestrom in nordöstlicher Richtung zu folgen. Im linkenoberen Bereich keine Radarerfassung aufgrund von Sektorblanking.

Einsatz Balkenradar März 2017 Vertikal und Horizontal

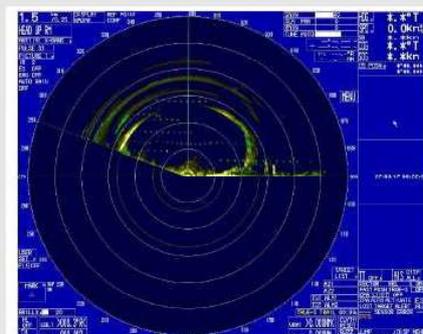


Abb. 4: Beispiel für ein Radarbild, das mit vertikal rotierendem Radarstrahl (Vertikalradar) erzeugt wurde. Horizontale Punktreihen stellen Vogelsignale dar, die sich durch den Blickausschnitt bewegen.

Peenestrombrücke BMVIMV/DEGES

18

FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

Nachtsichtgeräte mit Restlichtverstärker

Radargestützte Zugvogelerfassung Peenestrom Wolgast – Frühjahr 2017



Abb. 9: Beispiel für einen Blick durch den für nächtliche Vogelerfassungen eingesetzten Restlichtverstärker des Typs Zeiss Victory NV 5,6 x 62 T*. Im Bild ein schwimmender Höckerschwan (*Cygnus olor*) am Standort.

Wärmebildkameras



Abb. 10: Beispiel für einen Blick durch die für nächtliche Vogelerfassungen eingesetzte Wärmebildkamera des Typs FLIR Scout II 640. Links oben im Bild ein Trupp fliegender Kormorane (*Phalacrocorax carbo*). Rosarot: Östliches Ufer des Peenestroms.

FGSV Ak 2.9.5

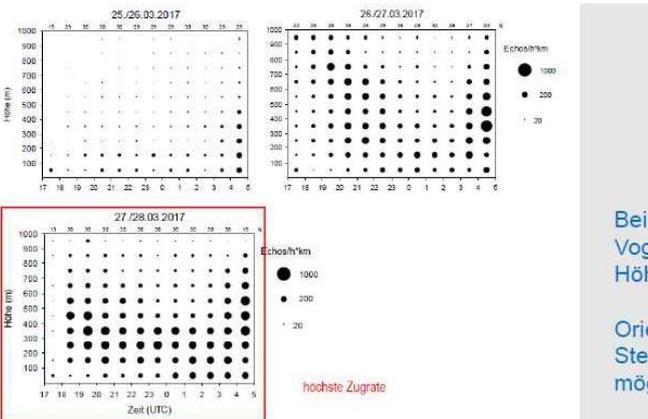
Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

17

Vertikalradar – Ergebnisse

DEGES



Bei guter Sicht findet
Vogelzug in größeren
Höhen statt

Orientierung am
Sternenhimmel
möglich

Zugvolumen (E/Sigrale/h*km)	Datum (UTC)	Windrichtung	Windstärke (Bft)	Sicht	Temperatur (°C)	Wolkendecke (Acht)	Art Niederschlag	Niederschlag (Nacht)
19.609	27./28.03.2017	keine, SW	0-1	sehr gut	4-9	0-1	trocken	0
19.321	16./17.03.2017	SW, S	2-3	sehr gut	5-8	0-8	trocken	0
17.528	21./22.03.2017	W, SW	1-3	sehr gut	3-6	0-8	trocken	0

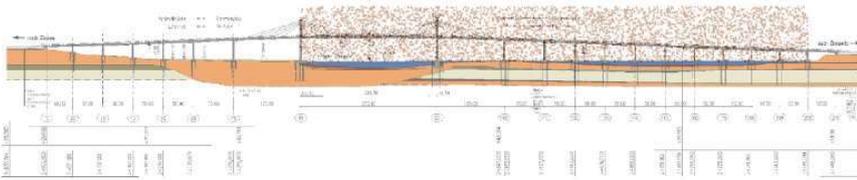
FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

Kollisionsrisiko Gänsesäger im Höhenbereich 0-100 m

Rastbestand Peenestrom u. Achterwasser: 4.800 Indiv. → 4.800 Zufallspunkte (Kreise d=100 cm)



Durchzugsfenster
Breite: 942 m
Höhe: 100 m

09.08.2017

OU Wolgast Peenestrombrücke BMV/IMV/DEGES

22

FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

Modellgestützte Kollisionssimulation

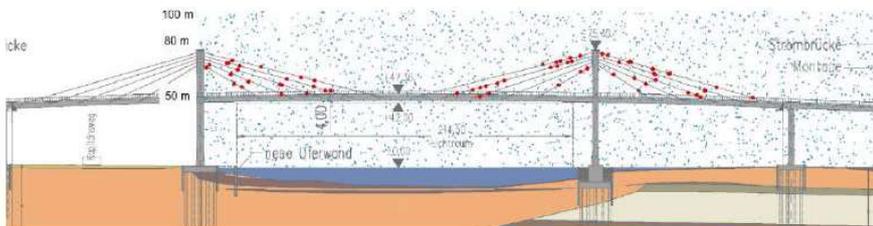
Kollisionsrisiko Gänsesäger im Höhenbereich 0-100 m

mögliche Kollision mit Abspannungen

Flügelspannweite max. 100 cm, Flughöhe 0-100 m, 4800 Zufallspunkte

● 68 Kollisionen

● ohne Kollisionen



09.08.2017

OU Wolgast Peenestrombrücke BMV/IMV/DEGES

23

FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

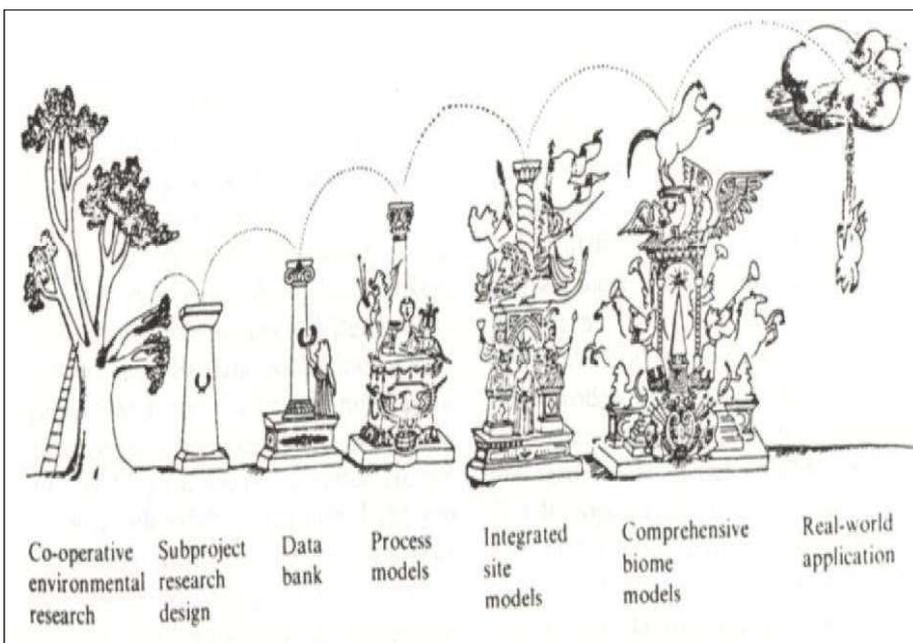
29./30. Oktober 2020

Problem	Erfassungsmethoden	Modellbildung	Maßnahme
Vogelzug, Fledermauszug über Fluss, Meeresarm mit Brückenbauwerk	Radar Nachtsichtgeräte Wärmebildkameras	3-D-Modell Brücke im Luftraum Durchflugsimulation	Wahl der Brückenvariante

FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020



Real-world-Application
(Abb. aus REMMERT 1980)

Was liefern Technik / Maschinen?

Interpretation mit ökol. Sachverstand

FGSV Ak 2.9.5

Dipl.-Geogr. Dr. agr. Sven Reiter
Landesamt für Straßenbau und Verkehr
Mecklenburg-Vorpommern, Rostock

29./30. Oktober 2020

**Vorstellung des angewandten
Forschungsprojektes
„Handbuch technische Sonderlösungen für
landschaftspflegerische Maßnahmen (HTSL)“**

Auftragnehmer:
Diplom-Geograf Conrad Graf
Diplom-Landschaftsökologe Falk Ortlieb
(Ökologische Dienste Ortlieb GmbH, Rostock)

Auftraggeber:
Dr. Sven Reiter
Florian Rottig
(Landesamt für Straßenbau und Verkehr M-V, Rostock)



1 Inhalt

2	Einleitung.....	1
3	Methoden.....	2
3.1	Durchführung von Interviews/ Recherchemeetings	2
3.2	Erstellung von Steckbriefen	2
3.3	Auswertung der Postersammlung der FGSV	3
3.4	Recherche im Resortbereich des Energieministeriums MV	4
3.5	Recherche an Forschungseinrichtungen	4
3.6	Einsatzmöglichkeiten mobiler Wände im Arten- und Biotopschutz.....	4
3.7	Gründung des Arbeitskreises HITS innerhalb der FGSV	5
3.8	Technische Anwendung bei Wurzelschutzdetektion und Wurzelschutzmaßnahmen (Karsten Kriedemann).....	5
3.9	Umsiedlung von Eremitpopulationen (Dr. Volker Meitzner).....	5
3.10	Artenschutz am Baum für Fledermäuse (Karsten Kriedemann)	6
3.11	Erstellung des Handbuches und Abschlussworkshop.....	7
4	Ergebnisse.....	8
5	Quellen	8

2 Einleitung

Die Praxis der technischen und nicht technischen Verfahren zur Ermittlung, Vermeidung und Kompensation von Eingriffen im Straßenbau entwickelt fortlaufend neue Ansätze und Methoden, um die wachsenden Herausforderungen im Natur- und Umweltschutz zu meistern. Erkennbar stellt sich die Verfügbarmachung dieses wachsenden Wissens als schwierige Aufgabe dar. Resort übergreifende Formate und der interdisziplinäre Wissenstransfer sind nicht immer in ausreichendem Maße vorhanden. Vor diesem Hintergrund wurde vom Landesamt für Straßenbau und Verkehr Mecklenburg-Vorpommern ein Projekt initiiert, welches sich dieser Thematik gezielt zuwendet.

Das im Herbst 2019 gestartete Projekt umfasst eine Recherche und Analyse von innovativen technischen Methoden für die ökologische Bestandserfassung und technischen Anwendungen bei landschaftspflegerischen Maßnahmen (LPM; vgl. Hinweise zur Wirksamkeit



landschaftspflegerischer Maßnahmen im Straßenbau - HLPM, FGSV (2013)) im Straßenbau und vergleichbaren Anwendungsfeldern.

Erkenntnisse anderer Vorhabenträger aus der Infrastruktur- und Bauleitplanung sowie Energieanlagenplanung des Ressortbereichs des Energieministeriums MV werden (ggf. über Transferschlüsse) berücksichtigt. Ziel des Projektes ist die Erstellung eines Handbuchs „Technische Sonderlösungen für landschaftspflegerische Maßnahmen MV (HTSL MV)“ sowie die Grundlagenarbeit für die Erstellung von Regelwerken und Hinweispapieren der SBV MV und die Unterstützung von Mitarbeitern der SBA MV für deren Mitarbeit in laufenden Gremien der Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV) und in anderen Formaten (z.B. IENE - Infra ECO Network Europe, FLL, europäisches Alleennetzwerk). Zudem sollen in konkreten Anwendungsfällen (s. Pkt. 3.6 und 3.7), technische Hinweise für die Planungspraxis der Straßenbauämter (SBÄ) / Straßenmeistereien (SM) erfolgen.

3 Methoden

Das Projekt wird in enger Abstimmung mit dem AG zu erarbeitet. Die Ergebnisse werden mithilfe verschiedener Methoden gewonnen, die nachfolgend vorgestellt werden.

Teilaufgaben werden durch Partner übernommen, die in den Unterkapiteln namentlich erwähnt werden.

3.1 Durchführung von Interviews/ Recherchemeetings

Die Projektbearbeitung erfordert eine Abstimmung mit allen relevanten Akteuren im Bereich technischer Lösungen für LPM. Der Auftragnehmer übernimmt in diesem Zusammenhang die Konzeption und fachliche Begleitung der Interviews/ Recherchemeetings. Die Leitung der Termine übernimmt das Landesamt für Straßenbau und Verkehr M-V.

In der Projektumsetzung hat sich die gezielte Ansprache per E-Mail und Telefon bezogen auf die Ermittlung von technischen Innovationen als am ergiebigsten erwiesen. Auch Recherchen im Internet haben zahlreiche Kontakte und Ergebnisse zu Tage gefördert.

3.2 Erstellung von Steckbriefen

Die analysierten innovativen Erfassungsmethoden und technischen Sonderlösungen für LPM werden in Form von Steckbriefen dargestellt. Diese werden vom AN in Abstimmung mit dem AG konzeptionell im Rahmen dieses Auftrages entwickelt und als ein Teil der Ergebnisdarstellung im HTSL MV verwendet. Für die Projektinhalte des HTSL MV werden an die Fragestellung angepasste Steckbriefe neu zu entwickelt.



Es bestehen etablierte Verfahren mit bewährten erfassungstechnischen Anwendungen wie z.B. telemetrische Untersuchungen. In den letzten Jahren wurden verschiedene neue Verfahren zur Erfassung entwickelt wie:

Untersuchung von Fledermäusen mit Heliumballons, genetische Verfahren (Umwelt-DNA), z.B. Amphibienpopulationen mit Wasserproben, Detektion von anfliegenden Fledermäusen oder Vögeln (Stichwort Abschaltanlagen), Anlagen zur akustischen und optischen Vergrämung, Drohneneinsatz zur Vegetationserfassung.

Folgende Leistungen werden im Zuge des Projektes erbracht:

- Recherche und Darstellung von neuen (innovativen) technischen Erfassungsmethoden für Untersuchungsobjekte (Tier-, Pflanzenarten, Artengilden, Taxa) über Auswertung von Projektunterlagen und Literatur
- Darstellung der Methode, erforderliche technische Ausrüstung, Abschätzung von finanziellem Aufwand, Zeitaufwand
- Vergleich mit HVA F-StB (BAST-Forschungsprojekt ANUVA), Ermittlung von Sonderleistungen für Erfassungen inkl. Abschätzung Zeitaufwand
- Neue Möglichkeiten für Anlage und Monitoring von LPM unter Berücksichtigung innovativer technischer Erfassungsmethoden

Die Ergebnisse werden in einem Erläuterungsbericht und mit Methodensteckbriefen der innovativen Erfassungsmethoden dargestellt. Die Steckbriefe sollen eine Grundlage für die Anwendung (u.a. Ausschreibungen) der Erfassungsmethode im Straßenbau sein.

3.3 Auswertung der Postersammlung der FGSV

Seit 2011 werden auf verschiedenen Fachveranstaltungen der FGSV Poster zu gelungenen Kompensationsmaßnahmen sowie zu anderen landschaftsplanerischen Fragestellungen präsentiert. Hierzu zählen vor allem die Landschaftstagen (2011, 2013, 2015, 2017), zu denen Posterausstellungen mit verschiedenen Schwerpunktthemen zusammengestellt wurden. Außerdem wurden Poster auf der D-A-CH-Tagung 2011 sowie auf dem Deutschen Straßen- und Verkehrskongress (2012, 2014, 2018) ausgestellt. Die stetig wachsende Postersammlung umfasst mittlerweile annähernd 150 *best practice* Beispiele der Planungspraxis in Deutschland sowie dem angrenzenden europäischen Ausland (Belgien, Österreich, Luxemburg, Polen, Schweden, Schweiz).

Folgende Methoden werden angewendet:

- Recherche/ Ermittlung von Projektbeispielen mit besonderem Technikeinsatz bei LPM (Schwerpunkt Landschaftstagung 2019)
- Zusammenstellung technischer Verfahren und Bewertung von Best-practice-Eignung
- Ideen / Akquisition neuer Posterbeiträge zum Thema Technik + LPM (mit Vorschlag zu möglichen Postererstellern - Ansprache der Posterersteller erfolgt i.d.R. durch AG)



Die Ergebnisse werden in einem Erläuterungsbericht und einer tabellarischen Übersicht über die ausgewerteten Poster dargestellt.

3.4 Recherche im Ressortbereich des Energieministeriums MV

Im Ressortbereich des Energieministeriums MV werden LPM geplant und hergestellt. Im Zuge des Projektes erfolgt die Analyse der Erfahrungen mit technischen Anwendungen bei LPM im Ressortbereich durch folgende Methoden:

- Befragung im Rahmen von Gesprächen mit Erfahrungsträgern, insbesondere Bergamt/ Leitungstrassenbau, Energiewirtschaft, Bauleitplanung
- Ideen für mögliche, zukünftige technische Anwendungen für deren LPM-Maßnahmen sind mit den Gesprächspartnern zu entwickeln
- Vorbereitung eines Umweltsymposiums im Ressortbereich des EM MV zum Thema Technikeinsatz bei LPM (Vorschlag von Themen, Referenten)

3.5 Recherche an Forschungseinrichtungen

Verschiedene Forschungsreinrichtungen arbeiten an technischen (smarten) Systemen zur „intelligenten“ Straße der Zukunft. Die Vernetzung intelligenter technischer Systeme der Straßenanlage mit LPM ist zu analysieren. Nach Möglichkeit sind technische Maßnahmen für LPM, insbesondere im Arten- und Gebietsschutz zu optimieren. Die Recherche umfasst auch die

- Analyse von Möglichkeiten des BIM- (Building Information Modeling) bzw. LIM- (Landscape Information Modelling) Einsatzes bei der Planung, Unterhaltung und Kontrolle von LPM
- Ermittlung smarterer Lösungen technischer Einrichtungen „intelligenter Straße“, BIM (Building Information Modeling) für LPM
- (Interview mit drei Universitäten/Fachhochschulen: TU Dresden - Prof. Lippold, FH Erfurt - Prof. Gather, TU Berlin - Prof. Köppel)
- Übertragung der „smarten“ Ansätze auf den Arten- und Gebietsschutz, Vernetzung intelligenter Straßentechnik mit LPM

3.6 Einsatzmöglichkeiten mobiler Wände im Arten- und Biotopschutz

Die DB AG wendet erfolgreich mobile Wandsysteme auf Baustellen, insbesondere für das Schutzgut „Mensch“ (Lärmschutz) an. Bisher erfolgte und geplante Anwendungsfälle der mobilen Wandsysteme für den Arten- und Gebietsschutz sind zu ermitteln und zu dokumentieren.

- Ermittlung und Analyse von Anwendungsfällen mobiler Wand-/Schutzsysteme (unter Berücksichtigung verschiedener technischer Ausführung) bei der DB AG



- Befragung, Recherche beim Umweltkompetenzzentrum der DB AG in Berlin

3.7 Gründung des Arbeitskreises HITS innerhalb der FGSV

Der gegründete Arbeitskreis bei der FGSV mit der Bezeichnung „Technische Sonderlösungen für landschaftspflegerische Maßnahmen im Straßenbau (HITS)“ ermittelt seinerseits weitere Innovationen und stellt diese zusammen. Die Auftragnehmer sind ebenfalls in diesem Arbeitskreis aktiv und ermitteln hier weitere Innovationen bzw. vertiefen den bisherigen Stand der Erkenntnisse. Die Ergebnisse von Tagungen und Workshops werden im Projekt ebenfalls verwendet und dokumentiert.

3.8 Technische Anwendung bei Wurzelschutzdetektion und Wurzelschutzmaßnahmen (Karsten Kriedemann)

Insbesondere bei der Setzung von Schutzplanken kann es zu Wurzelschädigungen kommen. Die vorhandenen technischen Detektionsmöglichkeiten zur Auffindung von Wurzeln sind zu ermitteln und für die Anwendung in der Planungspraxis aufzubereiten. Darzustellen sind insbesondere:

- Wurzelortung mit techn. Verfahren, insbesondere bei Alleebäumen
- (Die Position umfasst 5 Ortungsversuche an ausgewählten Alleebäumen in Abstimmung mit dem AG)
- Anwendung Sonderlösungen BAST für Schutzplanken
- Erstellung eines Fachfilmes zu Wurzelortungsverfahren

Sonstige Anwendungsfälle zum Wurzelschutz auf Straßenbaustellen werden berücksichtigt.

3.9 Umsiedlung von Eremitpopulationen (Dr. Volker Meitzner)

An Alleen-Alt bäumen in MV treten vermehrt Artenschutzprobleme mit der streng geschützten Zielart Eremit (*Osmoderma eremita*) auf. Zur Konfliktlösung sind spezielle technisch und räumliche Konzepte zu entwickeln. Die Leistung des AN umfasst hierbei:

Ermittlung von geeigneten technischen Verfahren für

- die Entnahme von besiedelten und Potential-Stammteilen
- den Transport der Stammteile
- die Sicherung von Bruthöhlen an verbleibenden Stammtorsi
- Verbringung in geeignete Aufnahmegebiete / Ablageflächen (Flächen in GGB unter Auswertung von FFH-MaP, Befragung StÄLU)

(Flächen außerhalb der GGB-Kulisse)

- Ermittlung von geeigneten Aufnahmegebiete/Ablageflächen unter Berücksichtigung der ökologischen Eignung und der Zugänglichkeit für Fahrzeuge SM



- Ermittlung/Darstellung sonstiger Möglichkeiten der Förderung von Eremitpopulationen (Baumpflege, Weidenkopfbäume, Aufforstungsflächen)

Die Ablageflächen sollten:

- den artspezifischen Umgebungsanforderungen von Eremiten/Rosenkäfern entsprechen (z.B. Vorhandensein von älterem Baumbestand mit mulmgefüllten Höhlungen in näherer Umgebung, möglichst schattig, um weitere Mulmbildung in den abgelagerten Stammteilen nicht zu unterbinden)
- leicht erreichbar sein (für schwere Transportfahrzeuge)
- zugänglich/nutzbar sein (Vorabsprache mit Flächeneigentümern)
- in Abstimmung mit Naturschutzbehörden ausgewiesen werden (UNBs/StÄLU)

Die Eremitumsiedlung wird für die Modellregion Straßenbauamt Neustrelitz erarbeitet. Es wird angestrebt je Straßenmeisterei (9 Meistereien) ein geeignetes Gebiet bzw. eine geeignete Fläche zu ermitteln.

Alle potenziellen, mit der Umwelt- und der Straßenbauverwaltung abgestimmten Aufnahmegebiete werden in Kartenform dargestellt. Die Einzelstandorte werden in Form von Steckbriefen (Vorbild Alleensicherungsprogramm Dt. Alleenstr.) mit Fotodokumentation und Detailkarte / Luftbildkarte ausgearbeitet.

Die Vorbereitung, Koordinierung, Begleitung u. Dokumentation einer konkreten (Pilot)-Umsiedlungsmaßnahme (hierzu Vorabstimmung mit Baumkontrolleur u. uNB) wird vorgenommen.

3.10 Artenschutz am Baum für Fledermäuse (Karsten Kriedemann)

An Alleen-Altäumen in MV treten vermehrt Artenschutzprobleme mit geschützten Fledermausarten auf. Zur Konfliktlösung sind spezielle technisch und räumliche Konzepte zu entwickeln. Die Ziele innerhalb des Projektes sind:

- Recherche und Detail-Darstellung von artspezifisch geeigneten technischen Fledermausersatzhabitaten (als Ersatz für Baumhöhlen, -spalten) einschl. Ermittlung/Darstellung der erforderlichen Randbedingungen für die Anlage der Ersatzhabitate sowie der erforderlichen Unterhaltung
- Ermittlung von geeigneten technischen Verfahren für
 - die Entnahme von Stamm- bzw. Kronenteilen mit besiedelten bzw. potentiell besiedelbaren Höhlen
 - Transport von Stamm-/Kronenteilen
 - Sicherung von Höhlen an verbleibenden Stamm-/Kronentorsi
 - Ermittlung von geeigneten Aufnahmegebieten / Aufhängorte



Die Aufnahmegebiete / Aufhängorte müssen:

- den artspezifischen Umgebungsanforderungen von Fledermäusen entsprechen
- leicht erreichbar sein (für schwere Transportfahrzeuge)
- zugänglich/nutzbar sein (Vorabsprache mit Flächeneigentümern)
- in Abstimmung mit Naturschutzbehörden ausgewiesen werden (UNBs/ StÄLU)

Die Ersatzhabitermittlung wird für die Modellregion Straßenbauamtes Schwerin erarbeitet. Je Straßenmeisterei (7 Meistereien) wird ein geeignetes Gebiet ermittelt. Alle potenziellen, mit der Umwelt- und der Straßenbauverwaltung abgestimmten Aufnahmegebiete werden in Kartenform dargestellt. Die Einzelstandorte werden in Form von Steckbriefen (Vorbild Alleensicherungsprogramm Dt. Alleenstr.) mit Fotodokumentation und Detailkarte / Luftbildkarte ausgearbeitet.

Die Vorbereitung, Koordinierung, Begleitung u. Dokumentation einer konkreten (Pilot)-Umsiedlungsmaßnahme (hierzu Vorabstimmung mit Baumkontrolleur u. uNB) wird vorgenommen.

3.11 Erstellung des Handbuches und Abschlussworkshop

In diesem Arbeitsschritt erfolgt eine systematische Zusammenstellung der Ergebnisse der Auswertung Posterausstellung, Recherchen Ressortbereich EM, Forschungseinrichtungen, Literaturrecherche usw. Ein besonderer Arbeitsschwerpunkt liegt auf der Erarbeitung und Darstellung von Methodensteckbriefen der Erfassungsmethoden sowie den innovativen technischen Anwendungen im Rahmen der Herstellung und Unterhaltung von LPM. Die Steckbriefe sollen die Ausschreibung von LPM im Straßenbau unterstützen. Für das Handbuch wird als Anlage ein Gesamtkatalog von technisch. Anwendungen bei Herstellung und Unterhaltung von LPM erarbeitet.

Das Handbuch enthält die Darstellung der Grundlagenermittlung sowie Handlungsempfehlungen für die SBV MV aus den Ergebnissen der Erhebung und eigener Schlussfolgerungen sowie Schlussfolgerungen des AG. Alle wichtigen technischen Sonderlösungen werden mit Fotos und/ oder Prinzipskizzen / Graphiken im Handbuch dokumentiert.

Es wird ein Abschlussworkshop durchgeführt werden, in dem die Ergebnisse der Straßen- und Umweltverwaltung MV vorgestellt werden. Der Abschlussworkshop wird unter Beteiligung von Straßenbau- und Umweltverwaltungen (UNB, StÄLU, LUNG, LM) organisiert. Das geplante Projektende liegt im Frühjahr 2022.



4 Ergebnisse

Bislang wurden 181 technische und nicht technische Innovationen ermittelt (Stand: 17.03.2021).

Davon entfallen 42 auf Methoden zur Erfassung von Schutzgütern, 128 auf Ausgleich und Vermeidung (landschaftspflegerische Maßnahmen) und 3 auf innovative nicht technische Verfahren. In der Kategorie sonstige wurden bisher 11 Innovationen gesammelt.

Derzeit befinden sich diese in der Selektion für nachfolgende Verwendungen:

- Ausarbeitung als Steckbrief
- Anlage in Tabellenform

Die ermittelten Informationsstände werden fortlaufend aktualisiert und erweitert. Die Darlegung der Ergebnisse wird im Rahmen der Handbucherstellung erfolgen, welches bis zum Frühjahr 2022 fertiggestellt werden soll.

5 Quellen

Bundesfernstraßengesetz (FStrG)

Straßen- und Wegegesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern (StrWG M-V)

Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG)

Gesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern zur Ausführung des Bundesnaturschutzgesetzes (Naturschutzausführungsgesetz - NatSchAG M-V)

Schutz, Pflege und Neuanpflanzung von Alleen und einseitigen Baumreihen in Mecklenburg-Vorpommern (Alleenerlass - AlErl M-V) vom 18.12.2015

BMV 1992: Merkblatt Alleen, Ausgabe 1992

BLA 1994: Merkblatt für Baumpflegearbeiten an Straßen, Ausgabe 1994 (FGSV 235)

FGSV 2006: Merkblatt für den Straßenbetriebsdienst - Teil: Grünpflege - Ausgabe 2006 (FGSV 390/1)

FGSV/DWA 2013: Merkblatt Bäume, unterirdische Leitungen und Kanäle, Ausgabe 2013 (FGSV 939)

BMVBW 2004: Leistungsheft für den Straßenbetriebsdienst auf Bundesfernstraßen, Leistungsbereich 2: Grünpflege, Ausgabe 2004

FLL 2004: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Baumpflegearbeiten im Straßenbau (ZTV Baum-StB 04), Ausgabe 2004



FGSV 2009: Richtlinien für passiven Schutz an Straßen durch fahrzeug-Rückhaltesysteme (RPS), Ausgabe 2009 (FGSV 343)

FGSV 2006: Empfehlungen zum Schutz vor Unfällen mit Aufprall auf Bäume ESAB, Ausgabe 2006 (FGSV 250)

Rundverfügung Straßenbau M-V Nr. 07/2013, Umgang mit Bäumen an Straßen unter Berücksichtigung der RPS 2009 vom 24.07.2013

Bericht der Landesregierung zur Sicherstellung des Schutzes, des Erhalts und der Mehrung des Alleenbestandes an Bundes- und Landesstraßen in M-V, Drucksache des Landtages M-V 6/4207,

DIN 18916 Vegetationstechnik im Landschaftsbau, Pflanzen und Pflanzarbeiten

DIN 18920 Vegetationstechnik im Landschaftsbau, Schutz von Bäumen, Pflanzenbeständen und Vegetationsflächen bei Baumaßnahmen

FGSV 2003: Hinweise zur Umsetzung landschaftspflegerischer Kompensationsmaßnahmen beim Bundesfernstraßenbau, Anhang 3 (FGSV 248)

FGSV 2013: Hinweise zur Wirksamkeit landschaftspflegerischer Maßnahmen im Straßenbau H LPM, Ausgabe 2013 (FGSV 248/1)

FGSV 2012: Richtlinie für die Anlage von Landstraßen RAL, Ausgabe 2012 (FGSV 201)

BMVBS 2011: Richtlinien für die landschaftspflegerische Begleitplanung im Straßenbau (RLBP), Ausgabe 2011

FGSV 2013: Empfehlungen für die landschaftspflegerische Ausführung im Straßenbau (ELA), Ausgabe 2013 (FGSV 293/2)

FGSV 1999: Richtlinien für die Anlage von Straßen (RAS), Teil: Landschaftspflege (RAS-LP), Abschnitt 4: Schutz von Bäumen, Vegetationsbeständen und Tieren bei Baumaßnahmen (RAS-LP 4, Ausgabe 1999 (FGSV 293/4)

Darüber hinaus in Abstimmung mit dem AG zu berücksichtigendes Schrifttum:

Artenschutz und Baumpflege, M. Dietz, D. Dujesiefken, Ausgabe 2015

BAST 2015, Berücksichtigung artenschutzrechtlicher Vorschriften in den Bau- und Betriebsphasen, Endbericht Forschungsprojekt Nr. FE 02.0322/2010/LGB

Recherche zu weiterem relevantem Schrifttum



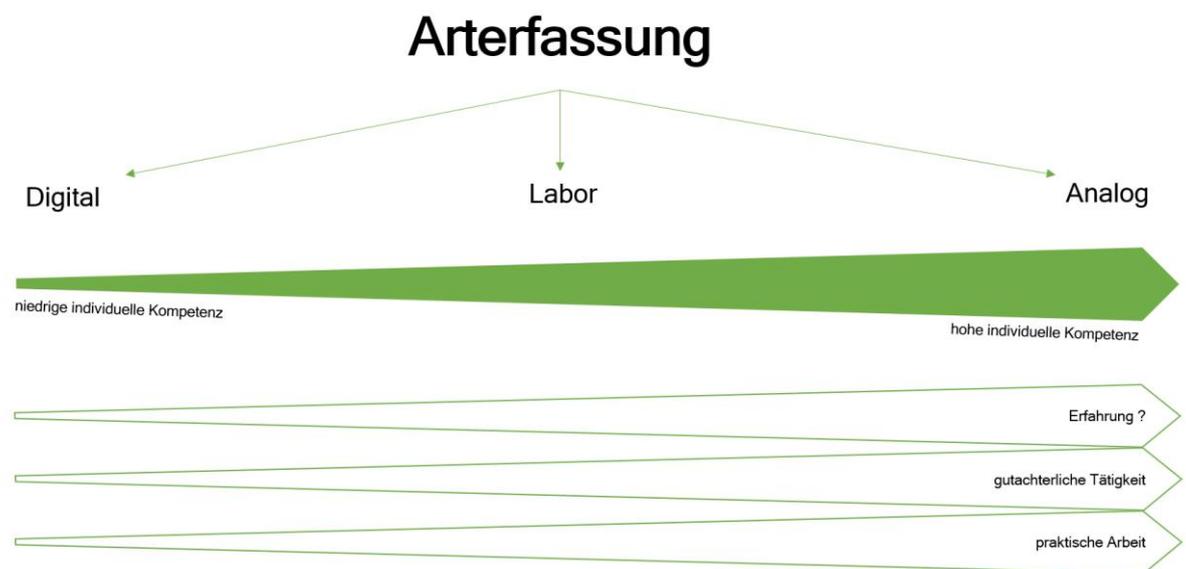
**Ökologischer Sachverstand als Voraussetzung für
die Interpretation innovativer, technikbasierter
Erfassungsmethoden**

-

Diplom-Landschaftsökologe Falk Ortlieb

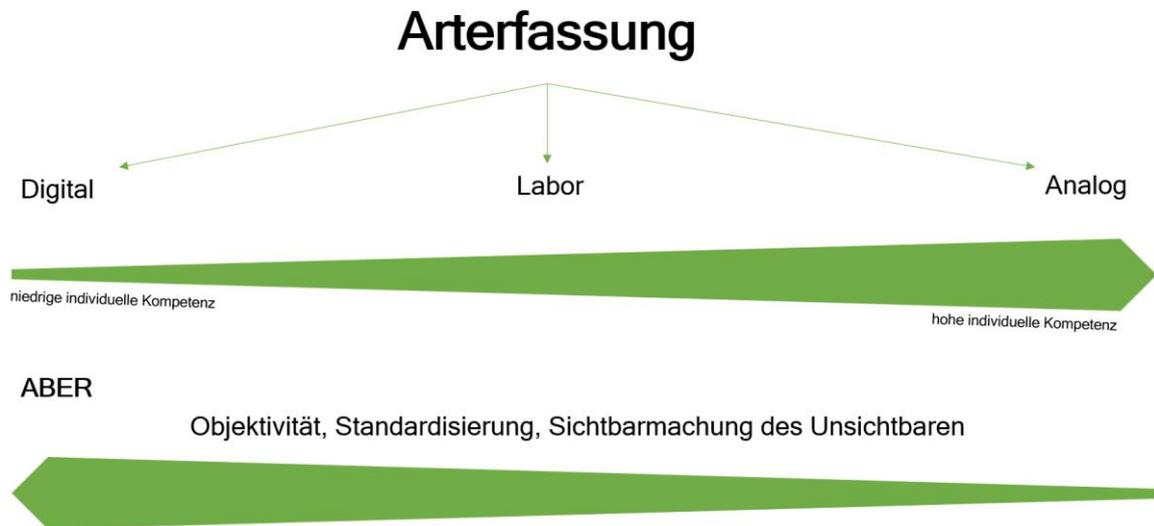


Der Autor stellte in einem Impulsvortrag Chancen und Kritikpunkte der Digitalisierung in der Freilandökologie gegenüber. Es braucht auch weiterhin Methoden der Felderfassung, welche von gut ausgebildeten Personen angewendet werden. Gleichzeitig bieten die modernen Labor- und Computer gestützten Anwendungen mehr Möglichkeiten dabei, das Unsichtbare sichtbar zu machen. Nach Auffassung des Autors lösen die modernen Methoden keine etablierten Verfahren ab, sondern ergänzen diese bestenfalls auf sinnvolle Art und Weise.



Als Beispiel sei die Analyse von DNA-Spuren in limnischen Ökosystemen genannt, die hergebrachte Fallen und andere invasive Detektionsweisen ergänzen und in Teilen verzichtbar machen können. Die Artenkenntnis in der Bevölkerung geht möglicherweise weiter verloren. Jedoch sind auch Gegentrends erkennbar, wie Beispiele aus dem Bereich Citizen Science erkennen lassen. Der reine Nachweis von Lebewesen stellt kein „Gutachten“ dar. Das Ergebnis ist nicht urheberrechtlich geschützt, da dieser Artnachweis keine wissenschaftliche oder schöpferische Leistung darstellt. Eingriffe in Bauvorhaben erfordern Bewertungen und v. a. evidenzbasierte Konzepte wie Schutz- und Vermeidungsmaßnahmen. Die Ergebnisse von künstlicher Intelligenz (KI bzw. AI) müssen von außen überprüfbar bleiben.





Algorithmen und Labore „produzieren“ ebenso Fehler, wie Beobachter im Felde. Viele Arten/ Schutzgüter werden sich kurz- und mittelfristig nicht automatisch kartieren lassen. Die Auswertung und Interpretationen derartiger Ergebnisse erfordert jedoch ebenfalls Erfahrung und ökologischen Sachverstand. Die Etablierung der neuartigen Methoden sollte zudem unbedingt von Fachleuten begleitet bzw. selbst vorangetrieben werden. Ziel der Felderkundung sollte die Kombination der traditionellen wie modernen Methoden sein, um optimale Ergebnisse in die Planungen einbringen zu können. Im Ergebnis werden die Artenkenner und Spezialisten weiterhin gebraucht. Der demografische Wandel und der Schwund der Biodiversität führen zu einem Verlust von Kontakt im Bereich „Mensch-Biodiversität“. Innovative Methoden können dies nur zum Teil auffangen. Artenkenner sollten eng in die Entwicklung und Etablierung eingebunden werden und diese bestenfalls selbst anwenden, um die Stärken und Schwächen der neuen Methoden optimal bewerten und stetig weiter entwickeln zu können.



Mikroklimaerfassung mit Drohnen zur habitorientierten Reptilienkartierung -

Diplom-Landschaftsökologe Falk Ortlieb



Traditionell erfolgt die Erfassung von Reptilen visuell im Gelände (Ergänzung durch künstliche Verstecke). In Infrastruktur- und Großprojekten werden häufig Transekte oder Probeflächen untersucht. Die Referenzflächenmethode entstammt der forstlichen Standorterkundung bzw. Waldzustandsbewertung und ist bei Fauna- und Florauntersuchungen kritisch zu sehen, da hier von Probeflächen auf unzulässige Weise auf einen größeren Bezugsraum geschlossen wird.

Regelmäßig ist die Frage zu klären, welche Bereiche detailliert untersucht werden sollen und wo eine Potenzialabschätzung zur Klärung der artenschutzrechtlichen Fragestellungen ausreichend ist. Die Kartierarbeit vor Ort gestaltet sich zeit- und in der Folge auch kostenintensiv. Bei kleinen bzw. versteckt lebenden Objekten ist die Fehlerquote bezogen auf unentdeckte Populationen der Zielarten mitunter recht groß. Der gesetzliche Artenschutz macht es erforderlich alle Individuen und Vorkommen im Vorhabengebiet im Vorfeld zu erkennen bzw. deren Präsenz als worst-case Annahme zu berücksichtigen. Die Zielarten sind Schlingnatter, Zauneidechse, Smaragdeidechse (streng geschützt) zuzüglich der besonders geschützten Arten weisen häufig sehr mannigfaltige und flexible Habitatansprüche auf. Viele verschiedene Parameter bestimmen über die lokale Präsenz bzw. Absenz einer Art. Die Geschichte und der Zufall sowie der Austausch mit anderen Populationen sind tendenziell zu wenig berücksichtigte Faktoren bei faunistischen Potenzialabschätzungen.



Abbildung 1: Reptilien wie die Zauneidechse (*Lacerta agilis*) besiedeln wärmebegünstigte Standorte.



Als Grundlage für weitere Überlegungen eignet sich eine Biotopkartierung als Grundlage recht gut. Die Exposition der Fläche bzw. deren Teilflächen hat eine hohe Bedeutung für die Reptilien. Die Vernetzung mit anderen potentielle Vorkommen sowie das Vorhandensein eines Biotopmosaikes sind zu prüfen. Hierbei kann Erfahrung (Eminenz statt Evidenz) hilfreich sein. Der Weg zu einer zu einer evidenzbasierten Arbeitsweise kann erreicht werden, indem verschiedene Anstrengungen unternommen werden. Die Grundlagenforschung, der Vergleich von real bekannten Vorkommen mit unbesetzten Flächen. Sinnvoll in Großprojekten ist aus der Sicht des Autoren die Kombination aus Potenzialabschätzungen und Stichprobenkartierungen. Ziel der vorgestellten Projekt Idee ist die Optimierung von Kartierungen bzw. faunistischen Potenzialabschätzungen in Habitaten, die ein Vorkommen von planungsrelevanten Arten vermuten lassen. Hintergrund des methodischen Ansatzes ist die Tatsache, dass Reptilien wärmebegünstigte Mikrostandorte besiedeln. Die flächenhafte Suche nach den Tieren erfolgt in der Praxis häufig nur stichprobenartig und ist teils recht zeitaufwendig. Stattdessen nimmt eine Drohne mit einer montierten Wärmebildkamera Daten der Erdoberfläche auf. Objektiv entscheidend für die Tiere und als Vergleichsgröße geeignet erscheinen die Temperaturen zur Aktivitätszeit (April bis Mai). Die Daten werden in ein Geländetemperaurmodell überführt. Bekannte Vorkommen sowie Gebiete mit Negativnachweis werden mit den Temperaturmesswerten „korreliert“. Ziel sind Minimal- und Maximalwerte, die es erlauben, ein Vorkommen anzunehmen bzw. auf der Ebene ausschließen zu lassen. Ziel der Methode ist die Klärung der Frage in welchem Temperaturbereich Positivnachweise zu erwarten sind und in welchen dies auszuschließen ist. Die Methode erspart Zeit für Kartierungen im Felde auf großen Flächen und erhöht die Qualität der Potenzialabschätzungen und somit die Rechtssicherheit deutlich. Die Technik ist verfügbar (Drohne, Wärmebild-Kamera). Gleichzeitig trägt sie zur Erhöhung der ökologischen Grundlagenkenntnisse bei. Eine Vorhersage von möglichen Vorkommen wird somit evidenzbasiert möglich. Die Ergebnisse würden die „Vorhersage“ der Vorkommenswahrscheinlichkeit der Zielarten auf bislang unkartierten Flächen erlauben. Dies stellt die Basis zu Eingrenzung der Kartierflächen auf Landschaftsebene dar. Mithilfe von Wärmebildkameras an Drohnen könnten Standorte selektiert werden, welche für eine gezielte Nachsuche geeignet sind. Über Messungen der Boden Temperaturen könnten besetzte mit unbesetzten Standorten verglichen werden.

Auf diese Weise könnten zukünftig evidenzbasierte worst case- Analysen durchgeführt werden, die auf tatsächlichen Umweltparametern beruhen und nicht auf schwer überprüfbar Annahmen („Eminenz“). Nachteilig ist, dass die Schaffung eines statistisch belastbaren Datenbestandes (Modellierung) noch Zeit erfordert (Kosten) um die Methode auf Landschaftsebene zu erproben. Die Technologie für diese Idee liegt bereits vor. Einzig valide Datensätze scheinen derzeit noch nicht zu existieren. Gesucht werden Kooperationspartner und Finanzierungsmöglichkeiten um die Erprobung der Methode realisieren zu können.



Innovative Erfassungsmethoden im europäischen Gebietsschutz und besonderen Artenschutz – Rechtssicherheit und Verwertbarkeit in Planungsverfahren

von Dr. Marcus Lau, Rechtsanwalt und Fachanwalt für Verwaltungsrecht, Leipzig

1 Einführung

Grundlage jeder Behördenentscheidung ist eine ordnungsgemäße Ermittlung des maßgeblichen Sachverhalts. Dies gilt erst recht für Planungsentscheidungen, die durch das Abwägungsgebot geprägt sind. Ohne Kenntnis der entscheidungserheblichen Fakten ist es reiner Zufall, die richtige Entscheidung zu treffen. Während es in vielen Bereichen Standards oder gar normative Vorgaben zur Sachverhaltsermittlung gibt, ist dies im Naturschutzrecht nur eingeschränkt der Fall. Insbesondere das europäische Gebietsschutzrecht und das besondere Artenschutzrecht zeichnen sich derzeit noch durch teilweise erhebliche Erkenntnisdefizite aus. Davon ist auch die Bestandserfassung betroffen.

Wissenschaft und Forschung sind hier sehr dynamisch und es gibt zahlreiche innovative Ansätze, die vielversprechend sind. Fraglich ist aber, ob und unter welchen Voraussetzungen innovative Methoden auch in Planungsverfahren Anwendung finden können. Traditionell sind behördliche Entscheidung eher innovationsfeindlich und die Abläufe sowie Entscheidungsfindungsprozesse konservativ. Doch auch hier hält zunehmend ein Wandel Einzug und verlangt das einschlägige Recht womöglich sogar eine stärkere Innovationsoffenheit. Dem wird im Folgenden sowohl für das europäische Gebietsschutz- als auch für das besondere Artenschutzrecht näher nachgegangen.

2 Europäischer Gebietsschutz

Besteht die objektive Wahrscheinlichkeit, dass ein Vorhaben die Erhaltungsziele eines Natura 2000-Gebiets beeinträchtigt, muss gemäß § 34 Abs. 1 Satz 1 BNatSchG vor Genehmigung oder vor Durchführung des Vorhabens eine FFH-Verträglichkeitsprüfung durchgeführt werden. Die Vorschrift geht auf Art. 6 Abs. 3 der Richtlinie 92/43/EWG (FFH-Richtlinie – FFH-RL) zurück. Es handelt sich um ein strenges, eng am Vorsorgegrundsatz ausgerichtetes Prüfsystem, bei dem der Vorhabenträger den Gegenbeweis dafür erbringen muss, dass das Vorhaben letztlich gebietsverträglich ist, weil es gebietsbezogene Erhaltungsziele nicht oder nur innerhalb tolerierbarer Bagatellschwellen beeinträchtigt.

Das Bundesverwaltungsgericht hat in Übereinstimmung mit der Rechtsprechung des Europäischen Gerichtshofs hierzu festgehalten, dass für die FFH-Verträglichkeitsprüfung eine sorgfältige Bestandserfassung und -bewertung in einem Umfang erfolgen muss, der es zulässt, die Einwirkungen des Vorhabens zu bestimmen und zu bewerten. Die Methode der Bestandsaufnahme ist dabei nicht normativ festgelegt, die Methodenwahl hat aber die für die Verträglichkeitsprüfung allgemein maßgeblichen Standards der besten einschlägigen wissenschaftlichen Erkenntnisse einzuhalten (BVerwG, Urteil vom 06.11.2013, Az.: 9 A 14.12,

Rn. 45). Das Vorgehen muss auf der sicheren Seite liegen (vgl. BVerwG, Urteil vom 06.11.2013, Az.: 9 A 14.12, Rn. 51). Umgekehrt besteht aber keine Verpflichtung auf die naturschutzfreundlichste Untersuchungsmethode, sondern muss es sich lediglich um eine fachwissenschaftlich anerkannte Methode handeln (BVerwG, Urteil vom 23.04.2014, Az.: 9 A 25.12, Rn. 26).

Die Verpflichtung auf eine fachwissenschaftlich anerkannte Untersuchungsmethode und das Erfordernis, auf der sicheren Seite zu sein, zeichnen eher ein innovationsfeindliches Bild. Andererseits darf aber nicht übersehen werden, dass der Grundsatz der Verhältnismäßigkeit der Untersuchungsverpflichtung eine Grenze setzt (BVerwG, Urteil vom 21.01.2016, Az.: 4 A 5.14, Rn. 100). Verspricht also eine neue Untersuchungsmethode einen – wesentlich – geringeren Untersuchungsaufwand, muss sie in Erwägung gezogen werden. Des Weiteren bezieht sich die Pflicht, den besten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisstand heranzuziehen, nicht nur auf die Erkenntnisse über das Schutzgebiet selbst, sondern auch auf die Methodenwahl.

Es müssen alle einschlägigen wissenschaftlichen Mittel und Quellen ausgeschöpft werden (BVerwG, Urteil vom 17.01.2007, Az.: 9 A 20.05, Rn. 62), was gerade auch neue, innovative Ansätze mit umfasst. Als beste einschlägige wissenschaftliche Erkenntnisse sind nämlich regelmäßig die aktuellsten Ergebnisse des wissenschaftlichen Diskurses und der Forschung anzusehen. Da sich jede neue Erkenntnis aber erst einmal gegenüber der bisher herrschenden Ansicht durchsetzen muss, stellt sich die Frage, inwieweit noch nicht allgemein etablierte Ansätze zu berücksichtigen sind. Darin, jede Mindermeinung ernst zu nehmen, kann die Lösung zwar nicht liegen, einen gangbaren Kompromiss zeigen aber die Empfehlungen der EU-Kommission in deren Mitteilung zur Anwendbarkeit des Vorsorgeprinzips vom 02.02.2000 auf. Darin heißt es, dass Mindermeinungen in angemessener Weise Rechnung getragen werden sollte, sofern es sich um eine Minderheit handelt, deren Glaubwürdigkeit und guter Ruf anerkannt ist (KOM (2000) 1, S. 20). Werden also wissenschaftliche Ansätze in der einschlägigen Fachliteratur sowie auf Tagungen und dergleichen ernsthaft diskutiert, so sind sie in der FFH-Verträglichkeitsprüfung zu berücksichtigen, auch wenn es sich dabei (noch) nicht um die herrschende Meinung handelt (vergleichbar der Rechtsprechung zum Begriff der gesicherten medizinischen Erkenntnisse im Zusammenhang mit den medizinischen Staatsprüfungen, siehe etwa BVerwG, Urteil vom 26.03.1997, Az.: 6 FC 7.96, BVerwGE 104, 203, 207).

3 Besonderer Artenschutz

Das ebenfalls auf europarechtliche Vorgaben zurückgehende besondere Artenschutzrecht weist demgegenüber eine etwas geringere Strenge auf. Hier ist nicht Gewissheit des Ausbleibens erheblicher Beeinträchtigungen gefordert, sondern genügt, dass Verbotswirklichkeiten nach dem Maßstab der praktischen Vernunft nicht zu erwarten sind (BVerwG, Urteil vom 27.11.2018, Az.: 9 A 8.17, Rn. 123). Solange und soweit es hinsichtlich der sich stellenden naturschutzfachlichen Fragen keinen allgemein anerkannten Standard gibt, kommt der zuständigen Behörde de facto ein nicht unerheblicher Entscheidungsspielraum zu (BVerwG,

Urteil vom 23.04.2014, Az.: 9 A 25.12, Rn. 90; grundlegend hierzu auch BVerfG, Beschluss vom 23.10.2018, Az.: 1 BvR 2523/13, 1 BvR 595/14).

Doch auch beim besonderen Artenschutz muss die zuständige Behörde den aktuellen Stand der ökologischen Wissenschaft berücksichtigen (BVerwG, Urteil vom 21.11.2013, Az.: 7 C 40.11, Rn. 19). Damit ist nicht jegliche innovative Untersuchungsmethode anwendbar, sondern bedarf es hierfür einer hinreichenden wissenschaftlichen Absicherung vergleichbar den Regeln beim europäischen Gebietsschutz.

4 Fazit

Es hat sich folglich gezeigt, dass sowohl das europäische Gebietsschutz- als auch das besondere Artenschutzrecht beides in sich aufnehmen: die Offenheit für wissenschaftlichen Fortschritt und Innovationen ebenso wie das Besterben nach Rechtssicherheit durch das Beschreiten eher bekannter Wege. Zwischen diesen beiden Antipoden muss im konkreten Einzelfall eine Entscheidung getroffen werden. Dabei gilt, dass, je besser eine neue Untersuchungsmethode bereits fachwissenschaftlich verankert ist (z.B. durch zitierfähige, einen Peer-Review-Prozess durchlaufene Publikationen), desto eher kann auf sie auch in behördlichen Planungsverfahren zurückgegriffen werden.

Die Methode muss von ihrer Konzeption her geeignet sein, die für die jeweilige Bewertung benötigten Informationen bereitzustellen. Des Weiteren muss die innovative Methode einen Mehrwert gegenüber bereits etablierten oder zumindest schon mehrfach praktizierten Verfahren aufweisen, der den mit dem Neuen verbundenen Nachteil an Rechtssicherheit aufwiegt.

Schwierig wird es dort, wo sich bereits ein bestimmter Standard herausgebildet hat, der dann eine eigene Gravität gewinnt und auch rechtlich maßstabsbildend geworden ist. In diesem Fall bedarf es einer annähernd vergleichbaren allgemeinen Anerkennung und damit wissenschaftlichen Etablierung, bis sich die innovative Methode auch in behördlichen Planungsverfahren als mindestens gleichwertig durchsetzt. Dies gilt grundsätzlich auch für das europäische Gebietsschutzrecht trotz seiner Verpflichtung auf die Berücksichtigung der besten verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse; denn dieser Innovationsoffenheit steht das Erfordernis der Gewissheit des Ausbleibens erheblicher Beeinträchtigungen und damit ein sehr hohes Sicherheitsbedürfnis gegenüber.

Solche Standards sind das Ergebnis einer Konventionsbildung, die wiederum ein Mindestmaß an inhaltlicher Transparenz sowie eine gemeinsame Kontrolle des Zustandekommens von Ergebnissen u.a. durch entsprechende Gremien erfordert; notwendig ist der Konsens einer breiten Mehrheit der Vertreter*innen der jeweiligen Fachwissenschaft (Wulfert et al. 2015, S. 7 f.).

Doch auch allgemein anerkannte Standards entbinden nicht von der Betrachtung des jeweiligen Einzelfalls, sodass aus besonderen Gründen des konkreten Falls (z.B. ein besonders

großes Untersuchungsgebiet) von diesen Standards immer auch abgewichen werden kann und muss. Dies bietet ein Einfallstor für innovative Ansätze und damit die Gelegenheit zur sukzessiven Etablierung neuer Methoden. Entscheidend ist die Überzeugung in der Sache und – gerade am Anfang – eine luzide Begründung des Ansatzes.

Es kann mithin festgehalten werden, dass die nach wie vor konservativen Elemente des Verwaltungsrechts sich zunächst unverkennbar als Hürde für die Anwendung neuer Untersuchungsmethoden in Planungsverfahren erweisen, das Recht aber im Allgemeinen und – was das europäische Gebietsschutz- und besondere Artenschutzrecht angeht – im Besonderen umgekehrt auch genügend Möglichkeiten für innovative Ansätze lässt, die genutzt werden wollen.

Quellen

Wulfert, K., Lau, M., Widdig, T., Müller-Pfannenstiel, K., Mengel, A. (2015): Standardisierungspotenzial im Bereich der arten- und gebietsschutzrechtlichen Prüfung. FuE-Vorhaben im Rahmen des Umweltforschungsplanes des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Auftrag des Bundesamtes für Naturschutz – FKZ 3512 82 2100, Herne, Leipzig, Marburg, Kassel.

NATURSCHUTZGENETIK

EINSATZ GENETISCHER METHODEN IM AMPHIBIENSCHUTZ

Das Aufspüren von versteckt lebenden oder seltenen Tierarten kann mit konventionellen Methoden schwierig und/oder sehr zeitintensiv sein. Mit der Analyse von DNA-Spuren (environmental DNA, eDNA = Umwelt-DNA) im Wasser kann auf die darin lebenden Arten geschlossen werden.

Für die Bestimmung der sich regelmässig in Stillgewässern fortpflanzenden Amphibien mittels eDNA wurde durch die ARNAL, Büro für Natur und Landschaft AG eine entsprechende Methode entwickelt und an zahlreichen Gewässern in verschiedenen Kantonen der Schweiz sowie in Österreich und Deutschland getestet. Diese Nachweismethode ist kostengünstig sowie praxistauglich und umfasst alle Teilarbeiten von der Probenahme im Feld über die Arbeiten im Labor bis zur Interpretation der Resultate und der benutzerfreundlichen Darstellung der Ergebnisse.

War der Einsatz genetischer Methoden zu Beginn eher experimentell, so hat sich dieser zwischenzeitlich für einzelne Einsatzbereiche als wertvolle Ergänzung der klassischen Methoden etabliert und der Einsatz erfolgt regelmässig. Mitentscheidend für diese Anwendungsentwicklung war die Erarbeitung des marktfähigen «Werkzeugkasten Naturschutzgenetik: eDNA Amphibien und Verbund» in einem Team von Forschungsinstituten und Partnern aus der Wirtschaft und der Naturschutzpraxis (HS Rapperswil, Universität Zürich, WSL, ARNAL, ecogenics und Microsynth) mit Unterstützung von InnoSuisse, des Bundesamtes für Umwelt und verschiedener Kantone.

Hauptbestandteil des entwickelten Werkzeugkastens sind genau beschriebene und erprobte Abläufe beziehungsweise Workflows für bestimmte genetische Anwendungen, vom Erstellen eines Probenahmedesigns, über das Sammeln von Proben im Feld, die Analysen im Labor, die statistischen Auswertungen, die benutzerfreundliche Darstellung und Interpretation der Resultate bis zur Abschätzung der Kosten. Dabei wurde darauf geachtet, dass durch das gezielte Ausrichten der Workflows auf die Optimierung des Arbeitsaufwands und der Kosten sowie auf für den Naturschutz wichtige Fragestellungen, das Potential der genetischen Methoden für den Alltag im Naturschutz nutzbar gemacht wurde. So wird auch ein entsprechender Markt für private Dienstleister wie Umweltbüros und spezialisierte Firmen geschaffen.

Der Werkzeugkasten Naturschutzgenetik beschränkt sich vorerst auf das Lösen ausgewählter, für die Effizienz der täglichen Naturschutzarbeit besonders wichtiger und häufig wiederkehrender Aufgabestellungen. Es wurden – gestützt auf eine Bedürfnisabklärung bei den Schweizer Kantonen – zwei standardisierte und praxistaugliche genetische Workflows etabliert.

Aktuelle Fachinformation und Publikation zum «Werkzeugkasten Naturschutzgenetik: eDNA Amphibien und Verbund» können jederzeit unter folgendem Link abgerufen werden:

- <https://arnal.ch/de/leistungen/naturschutzgenetik/fachinformationen>

Im Zuge dieser Arbeit wurde durch die ARNAL, Büro für Natur und Landschaft AG ein Methodenset entwickelt, welches den Arbeitsablauf von der Feldprobenahme (vgl. Abbildung 1, Abbildung 2), über die Analyse bis zur Resultatinterpretation aufeinander abstimmt und definiert.

Aktuellste Methoden sind unter folgendem Link jederzeit abrufbar:

- <https://arnal.ch/de/leistungen/naturschutzgenetik/methoden>

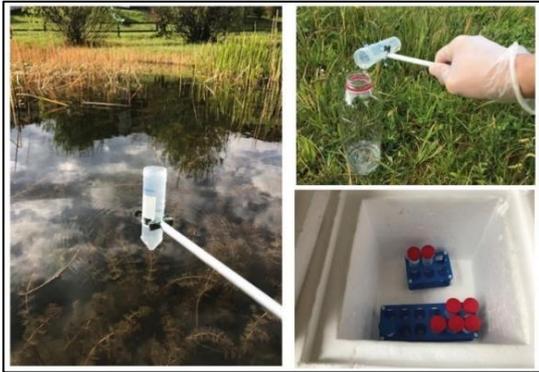


Abbildung 1: Beprobung eines Gewässers im Feld und Proben in der Kühlbox. (Fotos: ARNAL AG)



Abbildung 2: Für die Probenahme wird spezielles Feldmaterial bzw. werden spezifische Chemikalien benötigt. Dabei wird der Verwendung von «Einwegmaterialien» zur Verhinderung von Kontamination besondere Bedeutung beigemessen. (Fotos: ARNAL AG)

eDNA METHODENOPTIONEN / ANWENDUNGSBEREICHE

Im Vergleich zur «klassischen» Feldmethode können versteckt lebende Arten wie der Kammmolch mittels eDNA einfacher nachgewiesen werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass sich schwierig zu unterscheidende Arten (z.B. die Weibchen von Faden- und Teichmolch) oder Arten im Larvenstadium sicher bestimmen lassen. Da DNA-Fragmente während rund 2 Wochen im Gewässer erhalten bleiben, auch wenn die Art das Gewässer bereits verlassen hat, ist das Zeitfenster für die Erhebungen etwas grösser als bei der klassischen Erhebungsmethode. Ausserdem sind die Erhebungen nicht von der Tageszeit und/oder Witterung abhängig. Die Methode des Amphibiennachweises mittels eDNA und «traditionelle» Feldmethoden können ergänzend eingesetzt werden. So besteht die Möglichkeit, die Anzahl der Feldbegehungen beim traditionellen Monitoring zu reduzieren und dafür zusätzlich Wasserproben für die eDNA-Analyse zu sammeln.

Es ist wichtig, dass die Probenahmen von herpetologisch geschultem Personal geplant werden, auch wenn die eigentliche Durchführung keine grossen Fachkenntnisse voraussetzt. Es zeigt sich, dass auch bei der eDNA-Methodik der Zeitpunkt der Probenahme nicht zu vernachlässigen ist (z.B. Erdkröte als Frühlaicher) und die Probenahmestellen unter herpetologischen Aspekten vor Ort ausgewählt werden sollten.

Herpetologische Anwendungsbereiche können sein:

- Artnachweis im Gewässer (Grundlagenerhebung)
- Amphibienmonitoring
- Nachweis versteckt lebender Amphibienarten
- Nachweis morphologisch schwer unterscheidbarer Amphibienarten

ARTNACHWEIS IM GEWÄSSER (GRUNDLAGENERHEBUNG)

Für den Schutz von Amphibien, z.B. im Rahmen von Bauprojekten, ist es wichtig zu wissen, welche Arten in den betroffenen Gewässern vorkommen. So konnten im Rahmen von eDNA-Untersuchungen bei einem Gewässer im Jahr 2016 sechs von acht Arten sowohl mit «klassischer» Felderhebung wie auch mittels eDNA nachgewiesen werden. Eine Art wurde nur mittels eDNA festgestellt, eine weitere nur durch konventionelle Felderhebung. In diesem Fall hat die Kombination der beiden Methoden dazu geführt, dass sowohl die Erdkröte als Frühläucher mittels konventioneller Felderhebung, wie auch der versteckt lebende und schwer auffindbare Kammmolch mittels eDNA nachgewiesen und somit eine umfassende Inventarisierung vorgenommen werden konnte.

AMPHIBIENMONITORING MITTELS eDNA

Beim klassischen Monitoring von Amphibiengewässern werden eine oder mehrere Felderhebungen in der Dämmerung / Nacht sowie allenfalls zusätzlich am Tag durchgeführt. Kombiniert mit der eDNA-Methodik sind die Erhebungen breiter abgestützt und weniger von Witterung und Tageszeit abhängig. Daher können nicht selten mehr Objekte gleichentags untersucht und damit ein Gesamtmonitoring nicht nur genauer sondern auch effizienter abgewickelt werden.

NACHWEIS VERSTECKT LEBENDER AMPHIBIENARTEN

eDNA Methodenoption: Einzelartnachweis

Versteckt lebende Arten sind mit traditionellen Feldmethoden schwierig nachzuweisen. Im Rahmen eines Monitoringprogramms wurde 2017 untersucht, ob ausgewählte Gewässer mit weit zurückliegenden Kammmolch-Nachweisen immer noch vom Kammmolch besiedelt sind. Die Wasserproben wurden dazu spezifisch auf das Vorhandensein des Kammmolchs ausgewertet. In drei von 24 Gewässern konnte der Kammmolch trotz negativer Fundmeldung aus dem traditionellen Monitoring nachgewiesen werden.

eDNA Methodenoption: Filtermethodik

Die Filtermethodik eignet sich u.a. beim Einsatz an Fliessgewässern oder klaren, grossen Stillgewässern. Der Vorteil der Methode ist eine grössere Wassermenge, welche analysiert werden kann (vgl. Abbildung 3, Abbildung 4). Die Filtermethodik konnte im Jahr 2020 erfolgreich eingesetzt werden und kann, auf Grund der Resultate, in Kombination mit der „Standardmethodik“ in ausgewählten Fällen einen Mehrwert generieren. Neben der Bestätigung der Resultate der eDNA-Wasseranalyse ("Standardmethodik") konnten in ausgewählten Fällen mit der Filtermethode zusätzliche Artnachweise erfolgen.



Abbildung 3: Für beide Methoden erfolgt die Probenahme mit Tube und Probenahmewerkzeug. (Foto: ARNAL AG)



Abbildung 4: Proben für die eDNA-Wasseranalyse (links) und die Filtermethode (rechts). (Foto: ARNAL AG)

NACHWEIS MORPHOLOGISCH SCHWER UNTERSCHIEDBARER ARTEN

Methodenoption: DNA-Individualbeprobung

Im Gegensatz zu einer eDNA-Untersuchung ermöglicht eine direkte DNA-Individualbeprobung bei Artkomplexen, von welchen Hybride bekannt sind, den «Artreinheitsgrad» zu untersuchen. Damit kann bestimmt werden, ob es sich bei den beprobten Individuen um Hybride oder ob es sich um «reinrassige» Artvertreter des zu untersuchenden Artkomplexes handelt.

Pro Objekt (Gewässer oder Gewässerkomplex) wird eine bestimmte Anzahl Individuen (z.B. 3-6) des zu untersuchenden Artkomplexes mit einem Kescher gefangen und beprobt (vgl. Abbildung 5). Bei Amphibien werden standardmässig pro Individuum zwei Mundschleimhautabstriche mit Wattestäbchen genommen. Dabei wird mit dem Wattestäbchen die Mundschleimhaut eines Individuums einige Male abgefahren. Zum Öffnen der kleinen Mäuler eignen sich Gitarrenplektren (vgl. Abbildung 6). Nach der Probenahme werden die Wattestäbchen in speziellen Tubes im Tiefkühler gelagert und später an das Labor verschickt¹²³.



Abbildung 5: Die Amphibien werden mittels Kescher gefangen. (Foto: ARNAL AG)



Abbildung 6: DNA-Probenahme mittels Mundschleimhautabstrich. (Foto: ARNAL AG)

Mithilfe von DNA-Individualbeprobungen (Mundschleimhautabstriche) konnten im Jahr 2020 morphologisch nicht bestimmbare Individuen des Wasserfrosch-Komplexes (*Pelophylax aggr.*) mittels mitochondrialer und genomischer Genanalysen spezifischen «Wasserfroscharten» zugewiesen werden. Dabei werden zur Ermittlung der Art die mitochondriale DNA und zur Ermittlung von Hybridisierungen die genomische DNA der Individuen betrachtet und miteinander verglichen. Die bis anhin gewonnenen Resultate lassen vermuten, dass sich alle in dem gleichen Lebensraum vorkommenden «Wasserfroscharten» untereinander kreuzen können und sich unter die einheimischen «Wasserfroscharten» diverse eingeschleppte «Wasserfroscharten» (u. a. *P. bergeri*) gemischt haben. Es kann davon ausgegangen werden, dass «reinrassige Wasserfroscharten» kaum mehr morphologisch bestimmt werden können. Diese Erkenntnis ist insbesondere für den Umgang mit «Wasserfroscharten» im praktischen Artenschutz relevant. Die Methodik der DNA-Individualbeprobung kann auch für die Untersuchung von Migrations-, respektive Einschleppungsrouten von invasiven «Wasserfroscharten» herangezogen werden.

11.01.2021 / Hof

M:\1000.12 Naturschutzgenetik\FGSV_inno_Erfassungsmethoden_Berlin_2020\Tagungsreader_Beitrag\FGSV_Tagungsreader_Beitrag_ARNAL_210111.docx

¹ ARNAL et al. (Stand: Februar 2020). Methodik Verbund – Probenahmedesign, Analysen und Resultatinterpretation. Abgerufen von <https://arnal.ch/de/leistungen/naturschutzgenetik/methoden>

² Holderegger, R., Stapfer, A., Schmidt, B., Grünig, C., Meier, R., Csencsics, D., Gassner, M. (2019) Werkzeugkasten Naturschutzgenetik: eDNA Amphibien und Verbund. WSL Ber. 81. 56 S.

³ Holderegger, R., Stapfer, A., Schmidt, B., Grünig, C., Meier, R., Csencsics, D., Gassner, M., Rellstab, C., Stapfer, A. (2020) Ready-to-use workflows for the implementation of genetic tools in conservation management. Conservation Genet Resour 12, 691 – 700.

Identifizierung von Amphibien und Fischen in aquatischen Systemen anhand von eDNA

Anne Findeisen, Patricia Holm & Richard Pabst

1. Einleitung

Die Detektion von verschiedenen aquatischen Arten, insbesondere von gesetzlich geschützten Spezies, kann sich oftmals schwierig gestalten. Wird die Anwesenheit solcher Arten zu spät bemerkt, kann das im Rahmen von Bauprojekten für Verzögerungen sorgen oder sogar die vollständige Einstellung der Vorhaben bewirken. Dass sich die Überprüfung von manchen Arten problematisch gestaltet, kann verschiedene Gründe haben: zum einen können die gesuchten Arten selten sein, eine versteckte Lebensweise führen, morphologisch kaum von verwandten Arten zu unterscheiden sein oder es sind zum Zeitpunkt der Überprüfung nur schwer zu identifizierende Lebensstadien wie Eier oder Larven vorhanden. Daher hat sich das Team um Anne Findeisen, Patricia Holm und Richard Pabst in dem Gründungsprojekt IdentMe mit der Lösung dieser Probleme beschäftigt (Abb. 1). Das Gründungsprojekt mit dem Ziel der Entwicklung von molekularbiologischen Testverfahren zur Identifizierung von bestimmten Arten konnte von 2018 bis 2020 mithilfe einer Förderung durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und das Land Sachsen-Anhalt an der Hochschule Anhalt realisiert werden.



Abb. 1: Das Team IdentMe bei der Probenahme. Foto: A. Bindseil.

2. Lösungsansatz

Unter Verwendung von verschiedenen Labormethoden können die zu Beginn beschriebenen Probleme gelöst werden, indem mithilfe einer kleinen Wasserprobe die gesuchten Arten detektiert und eindeutig bestimmt werden können.

2.1. Molekularbiologische Analyse

Bei diesem Verfahren wird die im Wasser enthaltene eDNA (Umwelt-DNA) untersucht (Abb. 2). eDNA besteht aus dem genetischen Material, das Tiere und Pflanzen konstant durch z.B. Hautzellen, Schleimzellen, Ausscheidungen oder auch bei der Fortpflanzung an ihre Umgebung abgeben (HARPER et al. 2019). Die eDNA wird aus den Wasserproben extrahiert und anschließend mithilfe verschiedener Geräte und molekularbiologischer Methoden im Labor analysiert (FINDEISEN et al. 2020). Solche Methoden sind z.B. die Polymerase-Kettenreaktion (PCR). Diese Methode ermöglicht das gezielte Suchen und Finden von spezifischen DNA-Stücken in der Probe. Während die PCR abläuft, werden die gesuchten DNA-Stücke vervielfältigt, damit sie in ausreichender Menge vorhanden sind, um nachgewiesen werden zu können. Zum Schluss können diese DNA-Stücke eindeutig bestimmten Arten zugeordnet werden, sodass Aussagen über die An- oder Abwesenheit der gesuchten Art in dem jeweiligen Gewässer getroffen werden können.



Abb. 2: DNA-Analyse im Labor. Foto: PMU Photography, P. Mundil.

2.2. Probenahme

Für eine verlässliche Artenidentifizierung ist die korrekte Entnahme der Umweltproben von Bedeutung. Das Team IdentMe hat für die Entnahme von Wasserproben ein spezielles Probenahmekit zusammengestellt und im Rahmen des Gründungsprojektes mit verschiedenen Pilotkunden wie Naturschutzverbänden, Planungsbüros und einem Umweltamt getestet und optimiert. Das Kit besteht aus verschiedenen Komponenten wie z.B. Handschuhen für eine saubere Probenentnahme, einer Schöpfkelle für das Sammeln des Wassers, einem Probenahmebeutel sowie einer Spritze, einem Filter und einer Konservierungslösung. Damit der Artbestand vollständig abgebildet werden kann, werden die Wasserproben, je nach Größe und

Zugänglichkeit, in möglichst gleichen Abständen rund um das Gewässer herum entnommen (FINDEISEN et al. 2020). Die Wasserproben werden im Probenahmebeutel gesammelt und gut durchmischt. Danach wird das Wasser filtriert und die darin enthaltene eDNA sowie Zellen bzw. Zellbruchstück in einem speziellen Filter gebunden. Zum Schluss wird die so gewonnene eDNA durch Zugabe einer Konservierungslösung vor enzymatischem Abbau geschützt und der Filter ins Labor transportiert.

3. Artenportfolio

Im Rahmen des Gründungsprojektes konnten Verfahren zum Nachweis von verschiedenen Arten entwickelt und validiert werden. Hierfür wurden die meisten Tests eigenständig designt oder alternativ Daten aus der Literatur entnommen. Nach der Überprüfung am Computer wurden die einzelnen Methoden anschließend mit genetischen Proben der entsprechenden Arten im Labor getestet und optimiert (Abb. 3). Die Referenz-DNA für diese Tests wurde von Fachleuten zur Verfügung gestellt. Zum Schluss wurden die Tests im Freiland unter Verwendung von Umweltproben validiert. Das Portfolio von IdentMe beinhaltet bisher verschiedene geschützte Arten der Fauna-Flora-Habitatrichtlinie (FFH) wie z.B. Nördlicher Kammolch, Knoblauchkröte, Kreuzkröte, Springfrosch, Laubfrosch, Rotbauchunke und Moorfrosch. Aber auch zu anderen Gruppen gehörende Arten wie Fischotter, Schlammpeitzger und Medizinischer Blutegel kann das Team IdentMe anhand von eDNA nachweisen. Des Weiteren sind auch äußerst relevante Krankheitserreger wie der Salamanderfresser und der Chytridpilz Teil des Nachweisrepertoires. Testverfahren für alle heimischen sowie invasiven Flusskrebsarten und der für diese Artengruppe relevante Krankheitserreger der Krebspest befinden sich derzeit in der Entwicklung.



Abb. 3: Ergebnisauswertung im Labor. Foto: PMU Photography, P. Mundil.

4. Chancen und Risiken

Der größte Vorteil der eDNA-Analyse liegt darin, dass bestimmte gesuchte Tier- oder Pflanzenarten ohne einen direkten Fund schnell und eindeutig detektiert werden können. D.h. der molekularbiologische Nachweis ist unabhängig von einem visuellen Nachweis und nicht invasiv für die zu untersuchenden Lebensräume oder ihre Bewohner (HARPER et al. 2019). Außerdem ist der Artennachweis durch eDNA-Analyse unabhängig von der Tageszeit und den Witterungsverhältnissen und kann mit einer einzigen Begehung des Untersuchungsraumes realisiert werden. Überdies ist der spezifische Artennachweis besonders sensitiv, kann also auch geringste DNA-Mengen eindeutig detektieren, z.B. wenn nur wenige Individuen vorhanden sind. Nach den experimentellen Ergebnissen von IdentMe sind Nachweisgrenzen erreichbar, wofür das Vorhandensein von einer einzigen Zelle des gesuchten Zielorganismus in der Probe ausreichend ist, um diesen korrekt nachweisen zu können. Daher ist diese Methode besonders für die Überprüfung von seltenen oder schwierig zu identifizierenden Arten geeignet. Darüber hinaus bietet sie sich aber auch sehr gut für den Nachweis von invasiven Arten und Krankheitserregern in frühen Stadien an, um rechtzeitig Gegenmaßnahmen einleiten zu können (DEJEAN et al. 2012; GOLDBERG et al. 2013).

Wie jedes menschlich gesteuerte Verfahren bietet auch die eDNA-Analyse nicht nur Chancen, sondern auch Risiken. Während der Probenahme sowie der Bearbeitung der Proben im Labor können Kreuzkontaminationen oder DNA-Verschleppungen auftreten. Daher gibt es im Probenahmeprotokoll entsprechende Vorschriften zur Vermeidung solcher Komplikationen und auch im Labor werden verschiedene Kontrollen in allen Stufen des Analyseprozesses mitgeführt, sodass Kontaminationen erkannt und zurückverfolgt werden können. Bei der Entnahme der Wasserproben sollte beachtet werden, dass sich eDNA nicht unbedingt gleichmäßig im Gewässer verteilt. Zwar ist eine sehr geringe DNA-Menge für die richtige Identifizierung ausreichend, aber trotzdem sollten die Proben möglichst gleichmäßig um das Gewässer herum entnommen werden. Da das aufgrund von landschaftlichen Gegebenheiten und limitierter Zugänglichkeit der Gewässer oftmals nicht uneingeschränkt möglich ist, sollte das fehlende Wasservolumen an anderen Stellen entnommen werden, die als Habitate für die gesuchten Arten besonders geeignet sein könnten. Das können z.B. krautige Ansammlungen für bestimmte Amphibien sein. Abhängig von mehreren biotischen und abiotischen Faktoren ist eDNA zwischen wenigen Tagen und mehreren Wochen in wässriger Umgebung detektierbar, bevor sie abgebaut wird (DEJEAN et al. 2011; BARNES et al. 2014). Dadurch wird eine Momentaufnahme der im Gewässer tatsächlich vorhandenen Spezies ermöglicht. Teilweise wird eDNA aber auch im Sediment konserviert, weshalb die Aufwirbelung des Gewässerbodens bei der Probenahme vermieden werden sollte, um nicht unbeabsichtigt historische eDNA in die Probe mit aufzunehmen. Mithilfe des molekularbiologischen Nachweises können zwar ansonsten schwierig

zu identifizierende Spezies einwandfrei nachgewiesen werden, allerdings kann das Verfahren bisher noch keine Metainformationen z.B. über Vitalität, Alters- oder Geschlechterverteilung liefern.

5. Zusammenfassung

Die eDNA-Analytik stellt ein hilfreiches Instrument dar, um zeitsparend eindeutige Daten über das Vorhandensein der gesuchten Arten zu gewinnen (HARPER et al. 2019). Unabhängig von den vielen Vorteilen, die die eDNA-Analyse liefert, muss die Auswertung der Ergebnisse trotzdem stets kritisch und – wie bei allen Untersuchungen – unter Abschätzung der Vertrauenswürdigkeit der Resultate erfolgen. Nichtsdestotrotz können unter Beachtung der Grenzen der Methode, der genannten Empfehlungen und der Einhaltung maximaler Sterilität sichere und verlässliche Daten über das Vorkommen von Arten generiert werden, die mit herkömmlichen Methoden nur schwierig zu detektieren wären. Durch die Flexibilität des molekularbiologischen Verfahrens können eDNA-Tests, in Abhängigkeit des Probenmaterials, auch für viele weitere Artengruppen und Spezies entwickelt werden. Neben dem gezielten Artennachweis mithilfe diagnostischer PCR hat sich in den letzten Jahren auch die Methode des Metabarcodings für verschiedene Anwendungen etabliert. Bei diesem Verfahren können mithilfe von eDNA-Analyse und bioinformatischen Methoden ganze Artengruppen in einer Probe nachgewiesen werden. Das Metabarcoding ist daher für die Untersuchung der Biodiversität in Mischproben geeignet. Da sich der zielgerichtete Artennachweis sehr gut für die Detektion geringer DNA-Mengen eignet, hat sich das Gründungsprojekt IdentMe vorerst auf die Methode der diagnostischen PCR fokussiert, um auch seltene Arten bzw. geschützte FFH-Arten eindeutig nachweisen und identifizieren zu können. Die Etablierung des Metabarcodings soll aber in den kommenden Monaten folgen.

Literaturverzeichnis

BARNES, M. A., TURNER, C. R., JERDE, C. L., RENSCHAW, M. A., CHADDERTON, W. L. & D. M. LODGE (2014): Environmental conditions influence eDNA persistence in aquatic systems. – Environ. Sci. Technol., 48: 1819-1827. <https://doi.org/10.1021/es404734p>

DEJEAN, T., VALENTINI, A., DUPARC, A., PELLIER-CUIT, S., POMPANON, F., TABERLET, P. & C. MIAUD (2011): Persistence of Environmental DNA in Freshwater Ecosystems. – PLoS One, 6: e23398

DEJEAN, T., VALENTINI, A., MIQUEL, C., TABERLET, P., BELLEMAIN, E. & C. MIAUD (2012): Improved detection of an alien invasive species through environmental DNA barcoding: the

example of the American bullfrog *Lithobates catesbeianus*: Alien invasive species detection using eDNA. – J. Appl. Ecol., 49: 953–959. [https:// doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02171.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02171.x)

FINDEISEN, A., HOLM, P. & R. PABST (2020): Wie forensische Methoden einen Beitrag zum Erhalt der Biodiversität leisten können – Gründungsprojekt IdentMe unterstützt FFH-Monitoring durch eDNA-Analyse. – *amphibia*, 19: 26-33.

GOLDBERG, C.S., SEPULVEDA, A., RAY, A., BAUMGARDT, J. & L.P.WAITS (2013): Environmental DNA as a new method for early detection of New Zealand mudsnails (*Potamopyrgus antipodarum*). – *Freshw. Sci.*, 32: 792–800. <https://doi.org/10.1899/13-046.1>

HARPER, L.R., BUXTON, A.S., REES, H.C., BRUCE, K., BRYN, R., HALFMAERTEN, D., READ, D.S., WATSON, H.V., SAYER, C.D., JONES, E.P., PRIESTLEY, V., MÄCHLER, E., MÚRRIA, C., GARCÉS-PASTOR, S., MEDUPIN, C., BURGESS, K., BENSON, G., BOONHAM, N., GRIFFITHS, R.A., LAWSON HANDLEY, L. & B. HÄNFLING (2019): Prospects and challenges of environmental DNA (eDNA) monitoring in freshwater ponds. – *Hydrobiol.*, 826: 25–41. [https:// doi.org/10.1007/s10750-018-3750-5](https://doi.org/10.1007/s10750-018-3750-5)

Autoren



IdentMe

E-Mail: info@ident-me.com

Telefon: +49 (0) 176 9636 7183

Homepage: www.ident-me.com

Das Team IdentMe steht für Fragen, Anregungen, neue Projekte oder auch Analyseaufträge gerne per E-Mail oder auch telefonisch zur Verfügung.



EUROPÄISCHE UNION
ESF
Europäischer
Sozialfonds

Feldhamstererfassung mit klassischer und genetischer Methode

Ein Methodenvergleich

Leonard Adler*, Klaus Albrecht*

*ANUVA Stadt- und Umweltplanung GmbH
Nordostpark 89
90411 Nürnberg
Deutschland

Zusammenfassung

Als besonders gefährdete und nach § 44 BNatSchG geschützte Art muss der Feldhamster bei Eingriffen in Natur und Landschaft besonders betrachtet werden. Dabei hat sich das klassische Verfahren der Erfassung der Hamsterbaue nach Albrecht et al. (2015) bereits etabliert, um die Anzahl der Feldhamster auf einer Fläche zu schätzen. Darüber hinaus bieten genetische Erfassungsmethoden Informationen über den genetischen Zustand einer Population, wofür Haare über Klebefallen in den Baueingängen der Feldhamster gesammelt werden. Über die Haare bestimmt ein Labor den genetischen Fingerabdruck jedes beprobten Hamsters. Damit können Individuen eindeutig zugeordnet werden. Zusätzlich können die GutachterInnen mithilfe der Daten Aussagen über die genetische Diversität und den Isolationsgrad der Population treffen, und damit auf den Erhaltungszustand und den Erfolg von Maßnahmen im Zuge der Eingriffsplanung schließen.

1. Einleitung

Im Jahr 2020 stufte die IUCN den Feldhamster (*Cricetus cricetus* L.) auf „Critically Endangered“ herauf (Banaszek et al. 2020) und seit 2009 führt die rote Liste der Arten Deutschlands ihn als „vom Aussterben bedroht“ (Meinig et al. 2020). Aus diesem Grund muss der Feldhamster im Zuge von Eingriffsvorhaben in besonderer Tiefe betrachtet werden. Die klassische Kartierung der Hamsterbaue nach Albrecht et al. (2015) hat sich hierfür als Standard etabliert. Daneben können GutachterInnen auch genetische Verfahren nutzen, die zusätzliche planungsrelevante Informationen über den Erhaltungszustand einer Population bieten.

1. Klassische Erfassung von Feldhamsterbauen

Betrifft ein Vorhaben potenziell ein Feldhamsterhabitat, werden standardmäßig die Baue dieser Tiere kartiert (Albrecht et al. 2015). Die KartiererInnen laufen dafür die betroffenen Flächen auf engmaschigen Transekten ab und verorten gefundene Baue des Feldhamsters. Sie schätzen dabei vor Ort ein, ob es sich tatsächlich um einen Feldhamsterbau handelt und ob ein Feldhamster diesen aktuell nutzt.

Um belastbare Informationen über die Habitatnutzung zu erhalten, begehen die KartiererInnen die Flächen jeweils einmal im Frühling und im Sommer nach Ernte der Feldfrüchte. Im Frühling müssen die ExpertInnen unter Berücksichtigung von Witterungsverlauf, Lokalklima und zunehmender Vegetationsdeckung den jeweils günstigsten Begehungstermin bestimmen. Nach einer Studie in Unterfranken (Adler 2020) zu schließen, ist der Zeitraum ab Ende April dafür am besten geeignet, da zu der Zeit bereits die meisten Tiere ihren Bau nach dem Winterschlaf verlassen haben. Nur verhältnismäßig sehr wenige Individuen verlassen später erstmalig ihren Bau (Adler 2020).

Mithilfe der Baukartierung zählen die KartiererInnen die Baue der Feldhamster und schätzen anhand dessen ein, wie viele Hamster aktuell auf der Fläche aktiv sind.

2. Nicht-invasive genetische Erfassung

Reiners et al. (2011b) haben eine einfache Haarfalle entwickelt, mit dem die KartiererInnen nicht-invasiv genetisches Material sammeln können. Sie setzen die Fallen jeweils für eine Nacht in den Eingang der Hamsterbaus (Abb. 1A). Beim Betreten oder Verlassen des Baus durchquert der Hamster die Haarfalle und hinterlässt einige Haare an dem doppelseitigen Klebeband (Abb. 1B).

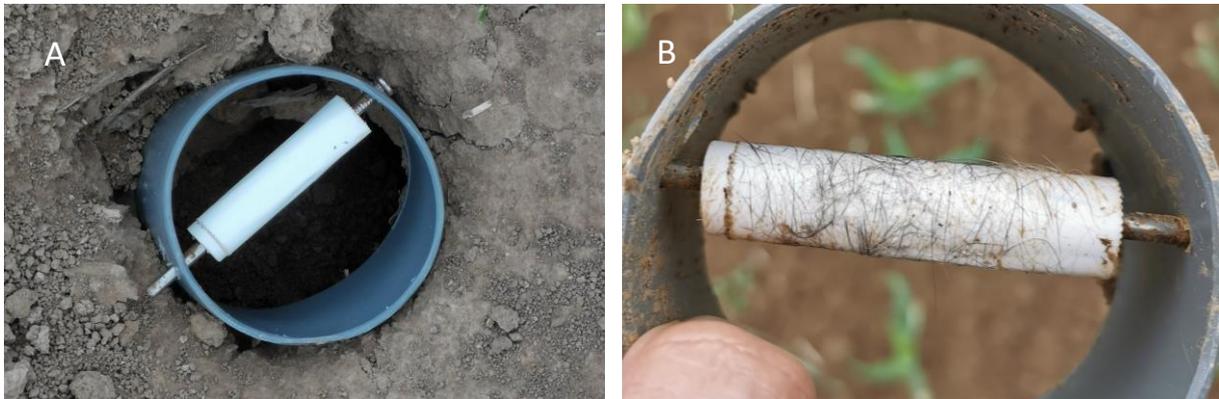


Abbildung 1: Haarfallen als nicht-invasive Methode der genetischen Beprobung. **A** Haarfalle im Eingang eines Feldhamsterbaus, **B** Haarfalle mit Probenmaterial. Die Haarfallen wurden von Reiners et al. 2011b entwickelt.

Im Labor wird die DNA aus den Haarwurzeln extrahiert und der genetische Fingerabdruck (Genotyp) der einzelnen Proben bestimmt. Eine Methode dafür sind Mikrosatelliten: Dabei vermehrt die PCR (Polymerase-Ketten-Reaktion) selektiv bestimmte repetitive Stellen (Mikrosatelliten) im Erbgut, die eine sehr variable Länge besitzen. Das Labor bestimmt anschließend die Längen, zum Beispiel durch Kapillarelektrophorese. Die Kombination der Längen mehrerer Mikrosatelliten im Erbgut eines Individuums ist charakteristisch: die Kombination von bereits 11 Mikrosatelliten reicht, um auch bei ingezüchteten Populationen die Individuen eindeutig zu unterscheiden (Adler 2020). Dabei ist es wichtig, dass das Labor ein erprobtes Set an Mikrosatelliten verwendet, um die Objektivität und Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Geschlechtsspezifische Mikrosatelliten zeigen das Geschlecht der einzelnen Tiere. Unterschiedliche Varianten der Mikrosatelliten kommen unterschiedlich häufig vor, und nicht alle Varianten findet man in jeder Population. Damit kann man die Allelfrequenzen (Häufigkeit der Ausprägung bestimmter Varianten) einer Population bestimmen. Daraus wiederum kann man die genetische Diversität der Population ableiten, sowie die genetische Distanz (Grad der genetischen Unterscheidung) zwischen zwei Populationen (Schleicher et al. in Druck). Es können aber noch weitere Prozesse mithilfe von Mikrosatelliten untersucht werden, wie genetischer Drift, Flaschenhals- bzw. Gründereffekte, Inzucht und geographische Strukturen von Populationen (Segelbacher und Holderegger 2016).

Mithilfe der genetischen Erfassung können also die GutachterInnen die Mindestanzahl der Feldhamster auf einer betroffenen Fläche angeben, sowie Aussagen über effektive Populationsgröße (geschätzte Anzahl von Individuen, die zur Reproduktion beitragen), Geschlechterverteilung, genetische Diversität und Isolierungsgrad von Populationen treffen. Damit können sie auch beurteilen, ob zwei benachbarte Populationen sich noch austauschen oder nicht. Da es bereits genetische Daten zu anderen Feldhamsterpopulationen in Deutschland und Nachbarländern gibt, können sie die Daten zudem im Vergleich bewerten (Adler 2020, Schleenbecker 2014, Reiners et al. 2011a, Reiners et al. 2014, Smulders et al. 2002).

3. Methoden im Vergleich

3.1. Gemeinsamkeiten und Unterschiede

Sowohl mit der klassischen Baukartierung als auch mit der genetischen Methode können ExpertInnen die Individuenzahl auf der betrachteten Fläche abschätzen. Dabei gibt die klassische Methode eine ungefähre Schätzung ab, deren Genauigkeit unter anderem von der Anzahl der genutzten Baue pro Tier abhängt (da Feldhamster häufig mehrere Baue nutzen, siehe Weinhold und Kayser 2006), aber auch davon, ob bereits alle Tiere aus dem Winterschlaf erwacht sind. Die genetische Methode gibt eine Mindestschätzung ab, die nach unten hin genau ist, aber nach oben hin ungenau sein kann, falls nicht von allen Tieren (geeignete) Proben gewonnen werden konnten.

Durch die unterschiedlichen Voraussetzungen kann sich die Schätzung durch klassische Kartierung und genetische Erfassung auf der gleichen Fläche um das 1,5 bis 1,9-fache unterscheiden (Tab. 1).

Tabelle 1: Vergleich der Schätzung durch Baukartierung und genetische Erfassung in zwei Studien

Studie	Schätzung Baukartierung	Schätzung genetische Erfassung	Verhältnis
Schleenbecker (2014)	62	33	1,9
Adler (2020)	34	22	1,5

Wie unter Punkt 3 detaillierter beschrieben, kann die genetische Erfassung weitere Informationen über eine Feldhamsterpopulation bieten als nur die Anzahl der Individuen: sie gibt Auskunft über die genetische Diversität und Isolation einer Population. Diesem Vorteil gegenüber stehen die Kosten von 150–200 €¹ pro Probe, wenn das Labor die Proben bis zum Individuenniveau genotypisiert, zusätzlich zu den Kosten für Anfahrt und Begehung.

3.2. Die Methoden im Kontext der Eingriffsvorhaben

Wenn Eingriffe geplant werden, können weitere Informationen über eine Population notwendig werden, um mehr über den Erhaltungszustand zu erfahren. So führt das Zerschneiden und Isolieren von Populationen langfristig zu genetischer Verarmung (Smulders et al. 2002) und damit zu Inzuchtdepression, die die Fitness der Population vermindert (Hedrick und Kalinowski, 2000). Darum sollten LandschaftsplanerInnen bei der Planung von Eingriffsvorhaben nicht nur die Größe, sondern auch die Genetik einer Population miteinbeziehen. Bei Wildkatzen beispielsweise ist die genetische Erfassung im Zuge von Eingriffsmaßnahmen bereits etabliert (Albrecht et al. 2015).

Bei der Erfassung der Feldhamster ist es dabei sinnvoll, die klassische und die genetische Methode zu kombinieren: Die KartiererInnen können während der klassischen Baukartierung die Haarfallen für die genetische Beprobung platzieren. Damit können sie die Daten aus der klassischen Baukartierung um die Daten aus der genetischen Beprobung ergänzen. Die tendenzielle Überschätzung der Populationsgröße durch die klassischen Baukartierung (s.o.) wirkt zunächst wie ein worst-case-Ansatz. Allerdings kann dadurch auch die Vulnerabilität eines Bestandes unterschätzt werden. Ist die Population sehr klein, wiegen Beeinträchtigungen unter Umständen schwerer. Die genauere Zählung der Individuen durch die genetische Methode kann deshalb helfen, CEF bzw. FCS Maßnahmen präziser zu dimensionieren. Darüber hinaus können die GutachterInnen aus den Informationen über

¹ Preisliste des Senckenberg Instituts

genetische Diversität und Isolation einerseits einschätzen, wie empfindlich eine Population auf Eingriffe reagieren wird. Damit könnte beispielsweise ein schlechter genetischer Erhaltungszustand einer Feldhamsterpopulation ein Ausschlusskriterium in einem Raumordnungsverfahren darstellen, da eine Zerschneidung des Habitats den genetischen Erhaltungszustand weiter verschlechtern würde (Smulders et al. 2002). Andererseits könnten die GutachterInnen mithilfe von genetischem Monitoring nach einem Eingriff einschätzen, wie erfolgreich eine vergränte oder umgesiedelte Population überlebt und sich weiter fortpflanzt (Laikre et al. 2008).

4. Fazit

Die genetische Erfassung stellt eine sinnvolle Ergänzung zur klassischen Methode dar, da sie objektiv eine Mindestschätzung einer Population erlaubt, wenn ein erprobtes Markerset verwendet wird. Außerdem bietet sie den GutachterInnen genetische Informationen über die betrachtete Population, aus der sie weitere Erkenntnisse zum Erhaltungszustand einer Population ableiten können. Diese Informationen sind für GutachterInnen hilfreich, um den Schaden von Eingriffen abzuschätzen und den Erfolg von Maßnahmen besser zu beurteilen. Aufgrund des deutlichen und vor allem planungsrelevanten Erkenntnisgewinns dürften die zusätzlichen Kosten durch die genetischen Beprobungen sicher bei den meisten Vorhaben als verhältnismäßig eingestuft werden.

5. Literaturverzeichnis

Adler, L. (2020). *Korrektisierung eines geeigneten Zeitraumes für die Kartierungen von Feldhamsterbauen (Cricetus cricetus)*. Bachelorarbeit – unveröffentlicht. Technische Hochschule Bingen.

Albrecht, K.; Hör, T.; Henning, F. W.; Töpfer-Hofmann, G.; Grünfelder, C. (2015). *Leistungsbeschreibungen für faunistische Untersuchungen - FE 02.0332/2011/LRB*. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Hrsg.) *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*. Bremen: Fachverlag NW im Carl Schünemannverlag.

Banaszek, A.; Bogomolov, P.; Feoktistova, N.; La Haye, M.; Monecke, S.; Reiners, T. E.; Rusin, M.; Surov, A.M.; Weinhold, U.; Ziomek, J. 2020. *Cricetus cricetus*. *The IUCN Red List of Threatened Species* 2020: e.T5529A111875852. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-2.RLTS.T5529A111875852.en>. Downloaded on 15 February 2021

Hedrick, P.W.; Kalinowski, S.T.; 2000. *Inbreeding Depression in Conservation Biology*. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31, 139–162.

Laikre, L.; Larsson, L.C.; Palmé, A.; Charlier, J.; Josefsson, M.; Ryman, N. (2008). *Potentials for monitoring gene level biodiversity: using Sweden as an example*. *Biodivers Conserv* 17: 893–910.

Meinig, H.; Boye, P.; Dähne, M.; Hutterer, R.; Lang, J. (2020): *Rote Liste und Gesamtartenliste der Säugetiere (Mammalia) Deutschlands*. – *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 170 (2): 73 S.

Reiners, T.; Bornmann, N.; Wolters, V.; Encarnação, J. (2011a). *Genetic diversity of Common hamster populations (Cricetus cricetus) revealed by non-invasive genetics*. *Säugetierkundliche Informationen*. 8. 99-105.

Reiners, T.; Eidenschenk, J.; Neumann, K.; Nowak, C. (2014). *Preservation of genetic diversity in a wild and captive population of a rapidly declining mammal, the Common hamster of the French Alsace region*. *Mammalian Biology* 79. 240–246

Reiners, T.; Encarnação, J.; Wolters, V. (2011b). *A non-invasive, cost-efficient method for genetic analyses of Common hamster populations (Cricetus cricetus)*. *Säugetierkundliche Informationen*. 8. 93-98.

Schleenbecker, M. (2014). *Verbesserung von Methoden zur Bestimmung von Populationsgrößen und Bestandsentwicklungen bei Feldhamstern*. Masterarbeit – unveröffentlicht. Justus-Liebig-Universität Gießen.

Schleicher, A., Bosert, S., Jocher, P., Engler, J. O. & K. Albrecht (im Druck): *Minderung der indirekten Fallenwirkung für Tiere in Straßenseitenräumen*. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FE 02.0372/2014/LRB im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur. Schlussbericht 2020. Smulder, M.J.M.; Snoek, L.B., Booy, G.; Vosman, B. (2002) *Complete loss of MHC genetic diversity in the Common Hamster (Cricetus cricetus) population in The Netherlands. Consequences for conservation strategies*. *Conservation Genetics*. 4. 441–451

Segelbacher, G.; Holderegger, R. (2016) *Genetische Vielfalt*. In Holderegger, R.; Segelbacher, G. (Hrsg.), *Naturschutzgenetik – Ein Handbuch für die Praxis* (1. Aufl., S. 25–42). Bern, Schweiz: Hauptverlag

Weinhold, U.; Kayser, A. (2006). *Der Feldhamster*. Die Neue Brehm-Bücherei, Westarp Wissenschaften, Bd. 625, Hohenwarsleben.

1 DNA-Metabarcoding - Auswertung von Insektensamples

1.1 Hintergrund

Der Rückgang der Artenzahlen von Insekten, Spinnen und anderen wirbellosen Tieren ist Teil der Biodiversitätskrise, welche seit Beginn der Industrialisierung und im Zuge der Intensivierung der Landnutzung bei allen Organismengruppen festzustellen ist. Dieser Verlust der Vielfalt von Insekten in den letzten Jahren (Sanchez-Bayo et al. 2019) stellt weltweit ein großes Problem dar, nicht zuletzt auch für die Aufrechterhaltung der Funktionalität unserer Ökosysteme. Angesichts dieser alarmierenden Zahlen besteht die Notwendigkeit, möglichst schnell ein dauerhaftes und flächendeckendes Insektenmonitoring aufzubauen. Solche Diversitätserhebungen sind jedoch sehr zeit- und kostenaufwändig. Die großen Mengen an Insekten, welche bei diesen Untersuchungen anfallen, stellen selbst für erfahrene Entomologen eine Herausforderung dar. In der Regel bedarf es unterschiedlicher Experten für die verschiedenen taxonomischen Gruppen, um die in einer Probe enthaltenen Tiere bestimmen zu können. Nicht immer sind solche Experten greifbar – denn die Verfügbarkeit anerkannter Taxonomen hat in den vergangenen Jahrzehnten stark abgenommen (Mailky 2019). DNA-basierte Methoden bieten hier eine innovative Lösungsmöglichkeit für dieses Dilemma, da mit ihrer Hilfe in verhältnismäßig kurzer Zeit zuverlässige und überprüfbare Daten generiert werden können. In zahlreichen Studien hat der Einsatz molekularer Methoden bewiesen, dass damit ein großflächiges, standardisiertes und regelmäßiges Biodiversitätsmonitoring möglich wird, was z.B. auch eine rasche und einfache Evaluierung von etwaigen gesetzten Maßnahmen erlaubt.

Grundsätzlich stehen verschiedene Möglichkeiten zur molekularen Artidentifikation zur Verfügung. Die derzeit am häufigsten eingesetzten Methoden sind das DNA-Barcoding (Hebert & Gregory 2005) als auch das DNA-Metabarcoding (Taberlet et al. 2012). In beiden Fällen bedient man sich der Vervielfältigung und des Lesens eines DNA-Abschnitts, welcher anhand eines Vergleiches mit Referenzdatenbanken, eine Identifikation der Arten erlaubt.

1.2 Methodik Metabarcoding

Beim DNA-Metabarcoding werden die Individuen nicht einzeln erfasst. Dieses Verfahren ermöglicht, aus Mischproben (Englisch „Bulk samples“) die darin enthaltenen Organismen anhand Ihrer DNA zu identifizieren und so umfangreiche Artenlisten von Insekten und anderen Arthropoden zu generieren. Es handelt sich somit um eine genetische Analyse einer Probe, welche sich aus einer Vielzahl von Individuen zusammensetzt. Die Proben, die hier untersucht werden, können aus unterschiedlichen Typen von Insektenfallen stammen. Dazu zählen beispielsweise Malaisefallen (weiße Fangzelte, benannt nach den Entomologen René Malaise), Bodenfallen (Barberfallen), Flugabfangfallen (Fensterfallen), Gelbschalen oder auch

Kicknetzproben, wie sie zur Erhebung des Makrozoobenthos in Gewässern eingesetzt werden. Ebenso lassen sich aber auch die Artengemeinschaften in Boden- oder Wasserproben molekular identifizieren, sowie auch das Beutespektrum von insektenfressenden Tieren anhand von DNA-Analysen aus Kotproben (z.B. Gordon et al 2018), Speiballen oder dem Mageninhalt (Waldner & Traugott 2012). Selbst Mischproben mit Substrat können in einem Mixer komplett zerkleinert und als Basis für eine erfolgreiche DNA-Analyse genutzt werden (Pereira-da-Conceicao et al. 2019). Für Fließgewässerorganismen aus finnischen Flüssen konnten z. B. über die DNA-basierte Methode deutlich mehr bewertungsrelevante Tiere identifiziert werden als im Vergleich zu den klassischen Verfahren (Elbrecht et al. 2017). Zudem können auch neue Indikatorarten, die stärker auf Stressfaktoren reagieren, klar unterschieden werden (Macher et al. 2016).

Wenn man die Organismen anhand ihrer DNA identifizieren möchte, ist dies bereits beim Aufstellen der Fallen bzw. bei der Probennahme zu berücksichtigen. Die Beständigkeit und damit die Verwendbarkeit von DNA für eine Identifikation ist von vielen Faktoren abhängig. So kann sie durch Konservierungsflüssigkeiten oder Zusätze zerstört werden. Zahlreiche eingesetzte Fangflüssigkeiten eignen sich nicht zur molekularen Weiterverarbeitung, da sie Einfluss auf die Qualität der DNA nehmen. Daher empfiehlt es sich etwa anstatt von Propylenglykol, einer gängigen Fangflüssigkeit für Insektenfallen, eine gesättigte Salzlösung mit einem Tropfen Spülmittel zu verwenden. Entsprechend kürzer können die Fallen im Gelände exponiert bleiben bzw. müssen diese in zeitlich engeren Abständen geleert werden um eine Zersetzung der gefangenen Tiere vorzubeugen. Die Proben sollten daher möglichst gekühlt ins Labor transportiert werden. Auch bei der Lagerung der Mischproben muss auf den Erhalt der DNA Rücksicht genommen werden. In Abhängigkeit von den Lagerbedingungen, insbesondere auch der Temperatur zersetzt sie sich sonst langsam im Laufe der Zeit (Ssymank et al 2018). Idealerweise wird daher hochprozentiges Ethanol als Fixiermedium verwendet (95-98%) - keine Formaldehydlösungen oder ähnliches - und die Proben werden dunkel und kühl gelagert.

Bei der anschließenden Probenaufbereitung im Labor unterscheiden wir zwei Herangehensweisen: die destruktive und die nicht-destruktive Methode.

- Beim destruktiven Verfahren wird die Mischprobe in der Regel zuerst getrocknet und mit einem Mixer oder eine Kugelmühle homogenisiert und daraus die DNA von allen Individuen gewonnen (z.B. Hajibabaei et al. 2011).
- Bei nicht destruktiven Verfahren erfolgt die Gewinnung der DNA entweder aus dem dekantierten Probenalkohol (Hajibabaei et al. 2012) oder aber die Mischprobe wird getrocknet, gesamt in Lysispuffer überführt und daraus die DNA isoliert (Braukmann et al. 2018).

DNA-Methoden mit Erhalt des Probenmaterials sind den destruktiven Ansätzen vorzuziehen, da sie bei Bedarf eine „konventionelle“ morphologische Bestimmungen zu einem späteren Zeitpunkt ermöglichen. Sie haben den Vorteil, dass bei Bedarf im Nachhinein auch Aussagen zur Abundanz bzw. Biomasse möglich sind bzw. das Material für eine Nachbearbeitung zur Verfügung steht. Bei den nicht invasiven Methoden ist man dazu übergegangen, den primären Fixieralkohol zu entfernen und die DNA aus dem frischen Alkohol, der nachträglich dazu gegeben wird, zu analysieren. Mitunter ist eine Größenfraktionierung der Proben vor der DNA-Extraktion von Vorteil, um kleinere und weniger abundante Arten erfolgreich zu detektieren und so eine bessere Auflösung zu erhalten.

Aus der gemahlten Mischprobe bzw. dem Lysat wird die DNA der Tiere isoliert. Hierzu gibt es zahlreiche kommerzielle Extraktionskits, deren Effizienz und Preis sich deutlich unterscheiden kann. Nach der DNA Extraktion erfolgt die Vervielfältigung des Barcoding Abschnitts im Rahmen einer Polymerasekettenreaktion (kurz „PCR“). Bei der anschließenden Hochdurchsatz-Sequenzierung (HTS), auch Next generation sequencing (NGS) genannt, werden die Basenabfolgen dieser Genabschnitte für mehrere Zehn- bis Hunderttausend DNA Fragmente aus der Probe mittels Hochdurchsatztechnologien simultan gelesen. Die so generierten Millionen von DNA-Sequenzen werden im Zuge der bioinformatischen Verarbeitung durch Algorithmen sortiert und können durch den Abgleich mit öffentlich zugänglichen Sequenzdatenbanken (NCBI, BOLD Systems) den verschiedenen Arten zugeordnet werden. Durch die individuelle molekulare Markierungen von einzelnen Proben können viele derartige Mischproben parallel analysiert werden, wodurch mehrere hunderte Proben parallel bearbeitet werden können (Brandon-Mong et al. 2015, Kitson et al. 2018).

Eine Standardisierung der kompletten Prozesskette auf internationaler Ebene, von der Probenentnahme über die Laboranalysen und die Bioinformatik ist in Vorbereitung (z. B. Europäisches Komitee für Normung (CEN)), sodass zu erwarten ist, dass in den kommenden Jahren erste Standards in diesem Bereich vorliegen werden. Das Analyseverfahren für ein Metabarcoding aus Insektenmischproben beinhaltet konkret folgende Schritte:

1. Vorbereitung der Proben (destruktiv, nicht destruktiv)
2. DNA Extraktion
3. PCR Amplifikation (Vervielfältigung des Barcoding-Gens)
4. Qualitätskontrolle
5. Vorbereitung der NGS-Library
6. Parallelsequenzierung
7. Bioinformatische Analyse
8. Sequenzabgleich zur Artenidentifikation

Der Umfang an verfügbaren DNA-Sequenzen in den öffentlich zugänglichen Referenzdatenbanken wächst täglich. Hier ist es allerdings wichtig zu berücksichtigen, dass in den Datenbanken mitunter auch Fehler zu finden sind. So können z.B. die hinterlegten Arten falsch bestimmt worden sein, oder es wurden irrtümlich Sequenzen von Pilzen oder Bakterien, welche sich in den Tierproben befanden, hochgeladen. Daher empfiehlt es sich, vorzugsweise kuratierte Datenbanken für eine Identifizierung mit den generierten Sequenzen zu heranzuziehen (z.B. in GBOL, ABOL). Darüber hinaus sollte man die Daten für eine korrekte Interpretation der Ergebnisse auch einem Plausibilitäts-Check unterziehen. Hierzu bedarf es einiges an Erfahrung, weshalb es sich empfiehlt auf Anbieter zurückzugreifen die entsprechendes Knowhow besitzen.

1.3 Vorteile und Herausforderungen

Ein klarer Vorteil des Metabarcoding gegenüber herkömmlichen Methoden zur Erfassung der Diversität in Mischproben von Insekten und anderen wirbellosen Tieren liegt darin, dass auch ohne Spezialisten für die verschiedenen taxonomischen Gruppen und aufwändige Einzelbestimmungen rasch Ergebnisse in Form umfassender Taxalisten generiert werden können. Man erhält dabei eine unvergleichbar breite taxonomische Abdeckung bei vielen Gruppen bis zur Art, wobei die Bestimmungsmöglichkeiten täglich durch die Einträge in die Sequenzdatenbanken wachsen. Die molekulare Artidentifikation ist unabhängig vom Stadium und Geschlecht der Tiere. So können auch ansonsten oftmals schwer bestimmbare Jugendstadien eindeutig anhand ihrer DNA identifiziert werden. Die generierten Daten sind sequenzbasiert und somit jederzeit durch einen wiederholten Datenbankabgleich überprüfbar. Auch können bislang nicht beschriebene bzw. noch nicht in DNA-Datenbanken vertretene Arten, als sogenannte molecular operational taxonomic units (MOTUs) miteingefasst werden. Dadurch besteht die Möglichkeit, Gesamtmessgrößen der α -Diversität wirbelloser Tieren aus Serien von Mischproben zu erhalten. Ausgehend von nur einer Probe können auch mehrere Analysen durchgeführt werden. Wenn man beispielsweise neben einer Erfassung der Biodiversität gezielt nach bestimmten Arten suchen möchte, wie etwa nach Indikatorarten, oder geschützten oder invasiven Spezies. Hierzu eignen sich insbesondere Analyseverfahren, welche sich spezifischer molekularer Sonden bedienen, anhand derer gezielt nach der DNA der Zielarten gesucht werden kann.

DNA-Extrakte lassen sich bei entsprechender Lagerung über lange Zeit aufbewahren, sodass weitere Analysen auch noch viele Jahre nach der eigentlichen Probennahme durchgeführt werden können, etwa wenn man wissen möchte, ob zu einer bestimmten Zeit diese oder jene Arten (noch) in einem Gebiet vorgekommen sind oder ob sie bereits verschwunden waren. Darüber hinaus können neben der Artzusammensetzung auch weitergehende Informationen

aus den Mischproben gewonnen werden. So wird z.B. Pollen von entomophilen Pflanzen eingetragen, anhand derer auch eine Bestimmung der vorkommenden Pflanzenarten möglich ist. Auch nicht-invasive Ansätze, wo die nachzuweisenden Tiere sich selbst nicht in den Proben befinden, sind möglich: So hat eine aktuelle Studie kürzlich gezeigt, dass man blütenbesuchende Insekten und Spinnentiere, allein anhand der DNA-Spuren, welche sie auf den Blüten hinterlassen mittels Metabarcoding identifizieren kann (Thomsen & Sigaard 2019).

Wie jede Methode bringt auch der Einsatz von molekularen Methoden gewisse Einschränkungen mit sich. Neben der Information, welche Arten in einem bestimmten Lebensraum vorkommen, möchte man in der Praxis meist auch wissen, wie groß die Individuenzahl ist. Hier gilt zu berücksichtigen, dass eine Quantifizierbarkeit über DNA-basierte Methoden nur bedingt möglich ist. Zwar korreliert die Menge an DNA in einer Mischprobe zu einem gewissen Grad mit der Biomasse der darin enthaltenen Organismen, aber man erhält keine Angaben zu den sich in der Probe befindlichen Individuenzahlen. Auch Angaben zum Geschlechterverhältnis oder zum Entwicklungsstadium sind derzeit nicht ableitbar. Darüber bestehen in den Referenzdatenbanken für einzelne Tiergruppen, wie z.B. Haut- und Zweiflügler, noch Lücken. Um diese entsprechend befüllen zu können, ist eine enge Kooperation mit Taxonomen und Museen entscheidend. Diese wird aktuell sehr erfolgreich in den nationalen und internationalen Barcode-Projekten wie GBOL, ABOL und SwissBOL umgesetzt. Entscheidend für den erfolgreichen Einsatz der neuen DNA-basierten Techniken wie dem Metabarcoding im Biodiversitätsmonitoring von Insekten wird in den nächsten Jahren auch der Aufbau von Kompetenzzentren an Universitäten, Museen, Behörden und der Industrie sein. Darüber hinaus ist die Einbeziehung politischer Entscheidungsträger und der breiteren Gesellschaft wichtig, um der großen Aufgabe des Biodiversitätsverlusts zu begegnen. Dank der ungleich schnelleren Analyse von Mischproben aus Insektenfall bietet der Einsatz dieser neuartigen Technologien nun erstmals auch die Möglichkeit, die Bevölkerung im großen Stil in Biodiversitätserhebungen mit einzubeziehen.

Autoren:

Dr. Corinna Wallinger, Sinsoma GmbH – DNA Analysis Services, www.sinsoma.com

Prof. Dr. Michael Traugott, Institut für Zoologie, Universität Innsbruck

1.4 Literatur

Brandon-Mong et al. (2015) DNA metabarcoding of in-sects and allies: an evaluation of primers and pipelines. – Bulletin of entomological research 105(6): 717–727.

- Braukmann et al. (2018) Revealing the Complexities of Metabarcoding with a Diverse Arthropod Mock Community. *bioRxiv*, 1– 40.
- Elbrecht et al. (2017) Assessing strengths and weaknesses of DNA metabarcoding-based macroinvertebrate identification for routine stream monitoring. *Methods in Ecology and Evolution* 8, pp. 1265-1275.
- Gordon et al. (2019) Molecular diet analysis finds an insectivorous desert bat community dominated by resource sharing despite diverse echolocation and foraging strategies *Ecology & Evolution* 9 (6) 3117-3129 <https://doi.org/10.1002/ece3.4896>
- Hajibabaei et al. (2011) Environmental barcoding: A next-generation sequencing approach for biomonitoring applications using river benthos. *PLoS ONE*, 6, 1– 7.
- Hajibabaei et al. (2012) Assessing biodiversity of a freshwater benthic macroinvertebrate community through non-destructive environmental barcoding of DNA from preservative ethanol. *BMC Ecology*, 12, 28.
- Hebert & Gregory (2005) The Promise of DNA Barcoding for Taxonomy. *Systematic Biology* 54, pp. 852-859.
- Kitson et al. (2016) Nested metabarcode tagging: a robust tool for studying species interactions in ecology and evolution. *bioRxiv*, 035071.
- Macher et al. (2016) Multiple-stressor effects on stream invertebrates: DNA barcoding reveals contrasting responses of cryptic mayfly species. *Ecological Indicators* 61, pp. 159-169.
- Malicky (2019) Sterben die Spezialisten aus? In: Vom Handwerk der Entomologie; Ed. Malicky, Springer Spektrum, Lunz a See, pp. 261-265 <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59525-1>
- Pereira-da-Conceicao, et al. (2019) Metabarcoding unsorted kick-samples facilitates macroinvertebrate-based biomonitoring with increased taxonomic resolution, while outperforming environmental DNA. *bioRxiv* 792333, 2019.
- Sanchez-Bayo et al. (2019) Review: Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation*, pp. 8-27
- Ssymank et al. (2018) Praktische Hinweise und Empfehlungen zur Anwendung von Malaisefallen für Insekten in der Biodiversitätserfassung und im Monitoring Series *Naturalis* Vol. 1), pp. 1-12.
- Taberlet et al. (2012) Towards next-generation biodiversity assessment using DNA metabarcoding (2012) *Molecular Ecology* 21(8) 2045-2050. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2012.05470.x>

Thomsen & Sigaard (2019) Environmental DNA metabarcoding of wild flowers reveals diverse communities of terrestrial arthropods. *Ecology & Evolution* 9(4) pp. 1665-1679.

Waldner & Traugott (2012) DNA-based analysis of regurgitates: a noninvasive approach to examine the diet of invertebrate consumers. *Molecular Ecology Resources* 12 (4) 669-675 <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2012.03135.x>

Beitrag Tagungsreader Online-Expertenworkshop

„Innovative Erfassungsmethoden für Planung, Bau und Betrieb von Infrastrukturanlagen“



Beitrag von Klara Hengst
klara.hengst@gmail.com

Masterarbeit im Fach Ökologie und Umweltplanung
Institut für Landschaftsarchitektur und Umweltplanung
Fachgebiet Umweltprüfung und Umweltplanung
Erstbetreuung: Dr.-Ing. Gesa Geißler
Zweitbetreuung: M. A. Marie Grimm

Masterarbeit: Bekanntheit und Nutzung von eDNA im Bereich Umweltplanung in Deutschland

Die laufende Masterarbeit (*HENGST 2021*) an der Technischen Universität Berlin befasst sich mit der Bekanntheit und Nutzung von eDNA im Bereich Umweltplanung in Deutschland. Der folgende Text für diesen Tagungsreader enthält Auszüge/Bestandteile aus dieser Arbeit welche durch doppelte Anführungszeichen (unten und oben) gekennzeichnet sind.

„eDNA ist die Abkürzung für environmental DNA (SCHENEKAR et al. 2020). Ein Synonym für eDNA im deutschsprachigen Raum ist Umwelt-DNA (SCHENEKAR et al. 2020). Die eDNA-Analyse ist eine neue Methode des Nachweises von Arten, bei der durch Stoffe, welche die Organismen abgeben, deren DNA in der Umwelt, zum Beispiel in Wasserproben, nachgewiesen wird (SCHMIDT & URSENBACHER 2015; SCHENEKAR et al. 2020).“ (*HENGST 2021*)

„Der eDNA-Methode wird ein *“enormous potential in biological monitoring”* (RUPPERT et al. 2019, S.2) nachgesagt. Sie hat eine Reihe von Vorteilen (SCHMIDT & URSENBACHER 2015; RUPPERT et al. 2019; SCHENEKAR et al. 2020), aber auch einige *“pitfalls”*, die zu beachten sind (RUPPERT et al. 2019, S. 1; ZIMMERMAN & HÜRLIMANN 2017). Trotzdem ist die Anwendung von eDNA, CRISTESCU & HEBERT (2018) zufolge, vergleichsweise selten und schreitet langsamer voran als die technischen Entwicklungen.“ (*HENGST 2021*)

„Während es unklar ist, wie arriert die eDNA-Methode in Deutschland ist, wird sie in Nachbarländern Deutschlands bereits genutzt, wie die folgenden Beispiele zeigen:

- In der Schweiz wird im Rahmen der Wirkungskontrolle Biotopschutz Schweiz (WBS) des Schweizer BAFU (Bundesamt für Umwelt) und der WSL (Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) im Zusammenhang mit Amphibien seit 2017 eDNA als Nachweismethode genutzt (BERGAMINI et al. 2019).
- In den Niederlanden wird eDNA als geeignete Methode (*“geschikte methode”*) zur Feststellung der Anwesenheit von *Triturus cristatus* (BIJ12 2017a, S. 16) und *Microtus oeconomus arenicola* (BIJ12 2017b, S.16) in artspezifischen Informationsblättern der Provinzen mit planungsrelevanten Informationen genannt (BIJ12 2020). Für *Misgurnus fossilis* wird eDNA sogar als am besten geeignete Methode (*“de meest geschikte methode”*) aufgeführt (BIJ12 2017c, S.17).
- HARPER et al. (2018) beschreiben für das Vereinigte Königreich ein routinemäßiges Monitoring für *Triturus cristatus* mit Hilfe von eDNA.“ (*HENGST 2021*)

1. Ziel und Aufbau der Arbeit

„Es gibt derzeit keinen Überblick über die Verbreitung der neuen eDNA-Methode in Deutschland. Es ist unklar, inwieweit deutsche Behörden und Planungsbüros mit der Methode vertraut sind. Daher wird im Rahmen der Arbeit versucht, sich dieser Fragestellung explorativ zu nähern. Das Vorgehen wird hier schematisch dargestellt (siehe Abbildung 1).“ (HENGST 2021)

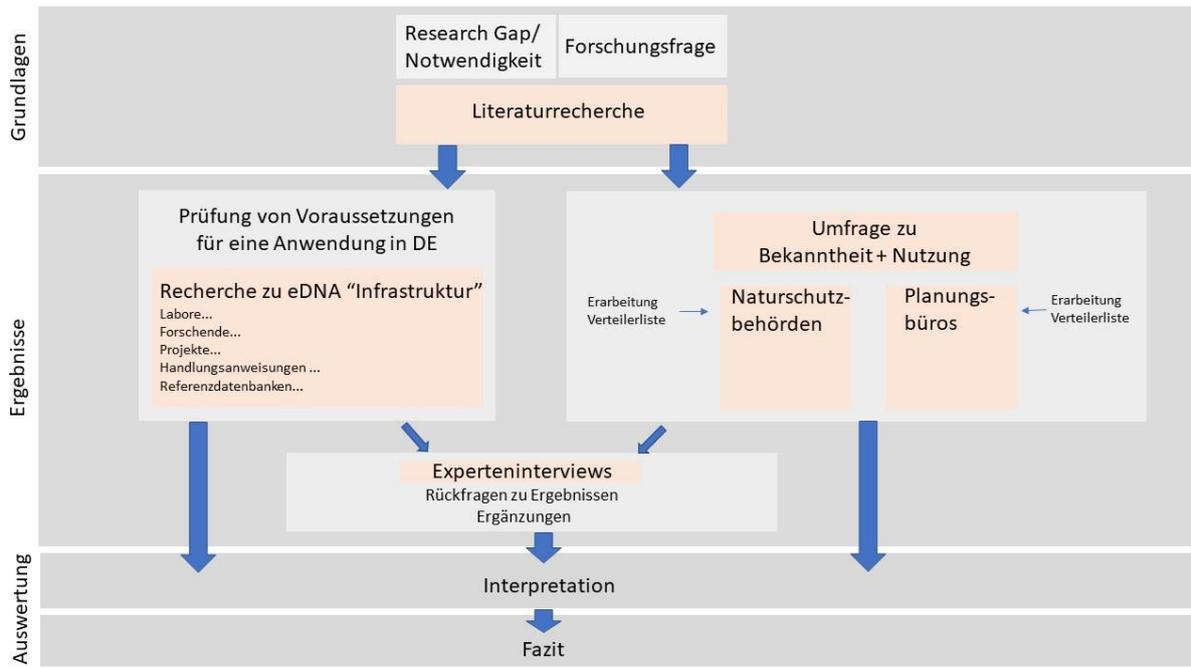


Abbildung 1: Übersicht Masterarbeit, Bekanntheit und Nutzung von eDNA im Bereich Umweltplanung in Deutschland (HENGST 2021)

„Zum einen erfolgt eine Recherche zu den Rahmenbedingungen in Deutschland und zum anderen eine Umfrage zu Bekanntheit und Nutzung der eDNA-Methode bei Planungsbüros und Naturschutzbehörden. Es sollen mit der Umfrage auch die Beweggründe für die Nutzung oder Nicht-Nutzung der eDNA-Methode aufgedeckt werden. Vorbereitend findet eine Literaturrecherche statt und ergänzend Experteninterviews, welche die Ergebnisse aus der Recherche zu den Rahmenbedingungen und der Umfrage zugunsten der Interpretation tiefergehend beleuchten und ergänzen sollen.“ (HENGST 2021)

Auf dem Experten-Workshop der FGSV wurde sowohl die Konzeption der laufenden Masterarbeit an sich als auch die vorläufigen Ergebnisse aus der Recherche zu den Rahmenbedingungen in Deutschland vorgestellt. Da die Masterarbeit noch nicht abgeschlossen ist, ist es nicht möglich an dieser Stelle die vorläufigen Ergebnisse zu publizieren und näher darauf einzugehen.

2. Umfrage

Die Durchführung der Online-Umfrage erfolgte Ende des Jahres 2020. Per E-Mail wurden Mitarbeiter*innen von Naturschutzbehörden und Planungsbüros in ganz Deutschland eingeladen, an der Umfrage teilzunehmen.

Die folgende Abbildung 2 zeigt die gestellten Fragen anhand des Fragebogens für die Naturschutzbehörden. Der Fragebogen für die Planungsbüros wich nur geringfügig von diesem ab.

Übersicht Fragebogenaufbau – Fragebogen Naturschutzbehörden

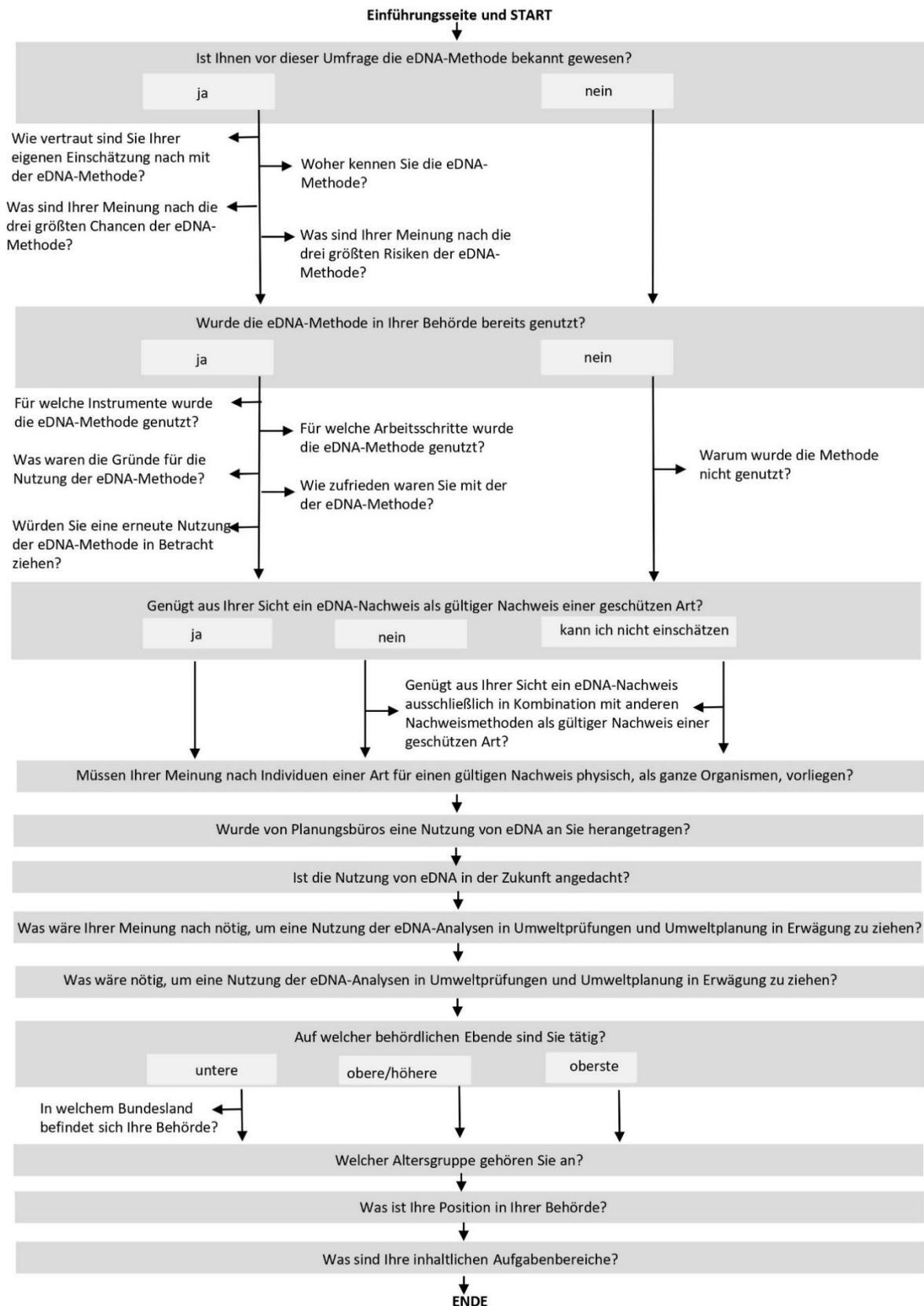


Abbildung 2: Übersicht zum Fragebogenaufbau und den Filterfragen am Beispiel des Fragebogens für die Naturschutzbehörden (HENGST 2021)

Insgesamt wurde der Fragebogen über 500-mal bis zur letzten Seite ausgefüllt. Es ergibt sich eine erfolgreiche Rücklaufquote von deutlich über 40%. Die Auswertung der Daten läuft und die Ergebnisse werden in der fertigen Masterarbeit zu finden sein.

Gerne wird die fertiggestellte Arbeit ab Mitte 2021 über die Autorin oder die TU Berlin (Fachgebiet Umweltprüfung und Umweltplanung) zur Verfügung gestellt.

Quellen

- BERGAMINI, A.; GINZLER, C.; SCHMIDT, B.R.; BEDOLLA, A.; BOCH, S.; ECKER, K.; GRAF, U.; KÜCHLER, H.; KÜCHLER, M.; DOSCH, O.; HOLDEREGGER, R., 2019: Zustand und Entwicklung der Biotope von nationaler Bedeutung: Resultate 2011–2017 der Wirkungskontrolle Biotopschutz Schweiz. WSL Ber. 85. 104 S.
- BIJ12 (2020): Kennisdocumenten Soorten – Natuurbescherming. URL: <https://www.bij12.nl/onderwerpen/natuur-en-landschap/kennisdocumenten-soorten-ontheffingen-wet-natuurbescherming/>, abgerufen am 25.05.2020.
- BIJ12 (2017a): Kennisdocument Kamsalamander. *Triturus cristatus*. Versie 1.0. Juli 2017. 1-43.
- BIJ12 (2017b): Kennisdocument Noordse woelmuis. *Microtus oeconomus arenicola*. Versie 1.0, juli 2017. 1-39.
- BIJ12 (2017c): Kennisdocument Grote Modderkruiper. *Misgurnus fossilis*. Versie 1.0. Juli 2017. 1-47.
- CRISTESCU, M. E., & HEBERT, P. D. (2018). Uses and misuses of environmental DNA in biodiversity science and conservation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 49, 209-230.
- HENGST, K. (2021): Bekanntheit und Nutzung von eDNA im Bereich Umweltplanung in Deutschland. Masterarbeit. TU Berlin. [Zum jetzigen Zeitpunkt (Januar 2021) noch in Bearbeitung].
- RUPPERT, K. M., KLINE, R. J., & RAHMAN, M. S. (2019). Past, present, and future perspectives of environmental DNA (eDNA) metabarcoding: A systematic review in methods, monitoring, and applications of global eDNA. *Global Ecology and Conservation*, e00547.
- SCHENEKAR, T., SCHLETTERER, M., & WEISS, S. (2020). eDNA als neues Werkzeug für das Gewässermonitoring–Potenzial und Rahmenbedingungen anhand ausgewählter Anwendungsbeispiele aus Österreich. *Österreichische Wasser-und Abfallwirtschaft*, 1-10.
- SCHMIDT, B. R., & URSENBACHER, S. (2015). Umwelt-DNA als neue Methode zum Artnachweis in Gewässern. *Zeitschrift für Feldherpetologie*, 22(1), 1-10.
- ZIMMERMANN, J., HÜRLIMANN J. (2017): Umwelt-DNA (eDNA) - Molekularbiologie erobert Arten-, Gewässer- und Naturschutz. *Wasser Energie Luft*. (109)3. 163-172.

Weitere Literatur zum Thema eDNA

- BIGGS, J., EWALD, N., VALENTINI, A., GABORIAUD, C., DEJEAN, T., GRIFFITHS, R. A., FOSTER, J., WILKINSON, J.W., ARNELL, A., BROTHERTON & WILLIAMS, P. (2015): Using eDNA to develop a national citizen science-based monitoring programme for the great crested newt (*Triturus cristatus*). *Biological Conservation*, 183, 19-28.
- BYLEMANS, J., GLEESON, D. M., DUNCAN, R. P., HARDY, C. M., & FURLAN, E. M. (2019). A performance evaluation of targeted eDNA and eDNA metabarcoding analyses for freshwater fishes. *Environmental DNA*, 1(4), 402-414.
- CAREW, M. E., PETTIGROVE, V. J., METZELING, L., & HOFFMANN, A. A. (2013). Environmental monitoring using next generation sequencing: rapid identification of macroinvertebrate bioindicator species. *Frontiers in zoology*, 10(1), 45.
- CORDIER, T., FRONTALINI, F., CERMAKOVA, K., APOTHÉLOZ-PERRET-GENTIL, L., TREGLIA, M., SCANTAMBURLO, E., ... & PAWLOWSKI, J. (2019). Multi-marker eDNA metabarcoding survey to assess the environmental impact of three offshore gas platforms in the North Adriatic Sea (Italy). *Marine environmental research*, 146, 24-34.
- DEINER, K., FRONHOFER, E. A., MÄCHLER, E., WALSER, J. C., & ALTERMATT, F. (2016). Environmental DNA reveals that rivers are conveyor belts of biodiversity information. *Nature communications*, 7(1), 1-9.
- GOLDBERG, C. S., TURNER, C. R., DEINER, K., KLYMUS, K. E., THOMSEN, P. F., MURPHY, M. A., ... & LARAMIE, M. B. (2016). Critical considerations for the application of environmental DNA methods to detect aquatic species. *Methods in ecology and evolution*, 7(11), 1299-1307.
- HARPER, L. R., LAWSON HANDLEY, L., HAHN, C., BOONHAM, N., REES, H. C., GOUGH, K. C., ... & HÄNFLING, B. (2018). Needle in a haystack? A comparison of eDNA metabarcoding and targeted qPCR for detection of the great crested newt (*Triturus cristatus*). *Ecology and evolution*, 8(12), 6330-6341.
- HEMPEL, C. A., JACOBS, G., BEERMANN, A. J., ELBRECHT, V., MACHER, J.-N., MACHER, T.-H., PEINERT, B., BORCHERDING, J. & LEESE, F. (2020): Umwelt-DNA bestätigt die Wiederbesiedlung und schnelle Ausbreitung der Rheingroppe in einem renaturierten Fließgewässer. *Natur und Landschaft*, 8(20), 358-363.
- HEMPEL, C. A., PEINERT, B., BEERMANN, A. J., ELBRECHT, V., MACHER, J. N., MACHER, T. H., JACOBS, G. & LEESE, F. (2020 b). Using environmental DNA to monitor the reintroduction success of the Rhine sculpin (*Cottus rhenanus*) in a restored stream. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 8, 81.
- HERING, D., BORJA, A., JONES, J. I., PONT, D., BOETS, P., BOUCHEZ, A., ... & LEESE, F. (2018). Implementation options for DNA-based identification into ecological status assessment under the European Water Framework Directive. *Water Research*, 138, 192-205.
- HOLDEREGGER, R., STAPFER, A., SCHMIDT, B. R., GRÜNIG, C., MEIER, R., CSENCICS, D., & GASSNER, M. (2019). Werkzeugkasten Naturschutzgenetik: eDNA Amphibien und Verbund.
- LAHOZ-MONFORT, J. J., GUILLERA-ARROITA, G., & TINGLEY, R. (2016). Statistical approaches to account for false-positive errors in environmental DNA samples. *Molecular Ecology Resources*, 16(3), 673-685.
- LAROCHE, O., WOOD, S. A., TREMBLAY, L. A., ELLIS, J. I., LEAR, G., & POCHON, X. (2018). A cross-taxa study using environmental DNA/RNA metabarcoding to measure

- biological impacts of offshore oil and gas drilling and production operations. *Marine Pollution Bulletin*, 127, 97-107.
- LEESE, F., BOUCHEZ, A., ABARENKOV, K., ALTERMATT, F., BORJA, Á., BRUCE, K., ... & DUARTE, S. (2018). Why we need sustainable networks bridging countries, disciplines, cultures and generations for aquatic biomonitoring 2.0: a perspective derived from the DNAqua-Net COST action. In *Advances in ecological research* (Vol. 58, pp. 63-99). Academic Press.
- RIAZ, M., WITWERT, C., NOWAK, C., & COCCHIARARO, B. (2020). An environmental DNA assay for the detection of the regionally endangered freshwater fish *Alburnoides bipunctatus* in Germany. *Conservation Genetics Resources*, 12(1), 41-43.
- ROUSSEL, J. M., PAILLISSON, J. M., TREGUIER, A., & PETIT, E. (2015). The downside of eDNA as a survey tool in water bodies. *Journal of Applied Ecology*, 52(4), 823-826.
- SCHMIDT, B. R., & GRÜNIG, C. R. (2017). Einsatz von eDNA im Amphibien-Monitoring. *WSL Berichte*, 60, 57-62.
- SHACKLETON, M. E., REES, G. N., WATSON, G., CAMPBELL, C., & NIELSEN, D. (2019). Environmental DNA reveals landscape mosaic of wetland plant communities. *Global Ecology and Conservation*, 19, e00689.
- THOMSEN, P. F., KIELGAST, J. O. S., IVERSEN, L. L., WIUF, C., RASMUSSEN, M., GILBERT, M. T. P., ORLANDO & WILLERSLEV, E. (2012). Monitoring endangered freshwater biodiversity using environmental DNA. *Molecular ecology*, 21(11), 2565-2573.
- THOMSEN, P.F., AND E. WILLERSLEV (2015): Environmental DNA—An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. *Biological Conservation*, 183, 4–18.
- WITWERT, C., STOLL, S., THINES, M., & NOWAK, C. (2019). eDNA-based crayfish plague detection as practical tool for biomonitoring and risk assessment of *A. astaci*-positive crayfish populations. *Biological Invasions*, 21(4), 1075-1088.

Drahtlose Sensornetzwerke zur automatisierten Telemetrie von kleinen Wirbeltieren

Simon P. Ripperger

Museum für Naturkunde - Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung

1. Anwendungsbereiche von Wildtiertelemetrie

Die Dokumentation von Verhalten oder Physiologie freilebender Tiere hat jahrzehntelange Tradition und findet im Bereich verschiedener Disziplinen wie Naturschutz oder Verhaltensökologie breite Anwendung. Die vielleicht klassischste Anwendung von Telemetrie ist die Dokumentation von Bewegungsmustern durch die Ortung eines tiergebundenen Senders, um beispielsweise Zugbewegungen oder Habitatnutzung besser zu verstehen. Ein großer Vorteil der Telemetrie im Vergleich zu anderen Monitoringmethoden ist die individuelle Identifizierbarkeit beobachteter Tiere und die damit verbundene individualisierte Datenaufnahme, während klassisches Monitoring häufig nur eine Artidentifizierung zulässt. Jedoch erfordern Telemetriestudien aufgrund der Notwendigkeit zu beobachtende Tiere mit einem Sender auszustatten einen erheblichen Mehraufwand. Tiere müssen gefangen, ggf. unter Betäubung besendert werden und je nach technischer Ausführung müssen Sender wiedergefunden werden, um die Daten auslesen zu können. Letzteres birgt ein hohes Risiko, Daten unwiederbringlich zu verlieren, wenn besenderte Tiere nicht wiederauffindbar sind. Daher ist bei Telemetriestudien ein hoher Grad an Automatisierung, sowohl beim Generieren als auch beim Akquirieren der Daten wünschenswert, jedoch nicht immer realisierbar.

2. Stand der Technik und neue Perspektiven durch technologische Innovation

Häufig gewährt die Verwendung technischer Innovation aus anderen technologiegetriebenen Bereichen völlig neuartige Einblicke bei der Wildtierbeobachtung. Ein Meilenstein war die Öffnung satellitenbasierter Ortungssysteme für zivile Zwecke und deren Anwendung in der Wildtierbeobachtung in den 80er und 90er Jahren, wodurch plötzlich globale Wildtierbewegungen nachvollziehbar wurden ([Seegar et al. 1996](#)). Während die ersten Generationen solcher ‚Tracker‘ noch ca. 30 g wogen, sind die aktuell auf dem Markt erhältlichen Produkte auf weniger als **1 g** geschrumpft. Trotzdem handelt es sich bei diesen neuartigen ‚GPS-Trackern‘ nicht um vollautomatisierte Beobachtungssysteme, da zwar das Tracking vollautomatisch per Satellit erfolgt, die Daten jedoch nicht aus der Ferne heruntergeladen werden können, da eine solche ‚remote download‘ Option mehrere Gramm an Gewicht, hauptsächlich in Form von zusätzlicher Batteriekapazität, bedeuten würde. So sind nach heutigem Stand gerade Tierarten, die sich durch ein geringes Körpergewicht auszeichnen und die die besonders artenreichen Gruppen repräsentieren (z.B. Kleinsäuger wie Nagetiere oder Fledermäuse oder viele Singvogelarten), bis heute kaum vollautomatisiert beobachtbar (siehe Abbildung 3 in [Kays et al. 2015](#)).

Ein Lösungsansatz, den Energieverbrauch beim Datendownload zu minimieren, zeigt die ICARUS-Initiative auf ([International Cooperation for Animal Research Using Space](#)). Hierbei werden die Daten anhand einer Antenne auf der Internationalen Raumstation (ISS) eingesammelt. Da die ISS auf einem deutlich niedrigeren Orbit (ca. 400 km) als die meisten Satelliten um die Erde kreist, lässt sich durch die kürzere Distanz und durch ausgeklügelte Kommunikationsprotokolle beim Download Energie sparen, wodurch die Sender kleiner und leichter werden. Mittels Solarpanel kann auf dem Tracker Energie rückgewonnen werden, was lange Laufzeiten ermöglicht und im Idealfall sogar ein lebenslanges Tracking der beobachteten Tiere. Jedoch wird die erste Generation von Trackern immer noch ca. 4-5 g

wiegen und Tiere, die weniger als ca. 80 – 100 g Körpermasse besitzen, lassen sich unter Beachtung der geltenden ethischen Richtlinien zur Wildtier telemetrie nicht besondern.

Je nach Fragestellung ist ein globales Tracking häufig gar nicht notwendig, da sich gerade kleine Tierarten abgesehen vom Zugverhalten relativ kleinräumig bewegen oder der Fokus beim Monitoring auf temporär aufgesuchten, räumlich begrenzten Bereichen liegt. In solchen Situationen bietet sich ein automatisiertes, bodengestütztes Tracking an. Beispielsweise lassen sich Radiotelemetriesysteme automatisieren (ARTS-Systeme) und werden beispielsweise eingesetzt, um Wühlmäuse auf ca. einem Hektar Fläche zu beobachten (siehe Tabelle 2 in [Ripperger et al. 2020](#) für eine Übersicht automatisierter Trackingsysteme inklusive Funktionalität und Kosten). Eine noch relativ neue Entwicklung ist das ATLAS-System, ein sogenanntes ‚reverse-GPS System‘, das Anhand lokaler Antennentürme per Laufzeitmessung ein vom Sender ausgestoßenes Signal ortet und so auf Flächen von mehreren Quadratkilometern besenderte Tiere mit einer räumlichen Auflösung im Bereich von satellitengestütztem GPS orten kann (mit einem Fehler von weniger als 10 m). Ein solches System wird derzeit von der Universität Potsdam zur Ortung von Vögeln und Fledermäusen in Brandenburg betrieben. Eine Evaluierung einer großflächigen Installation im Wattenmeer an der Nordsee mit 26 Empfängerantennen über eine Fläche von über 1000 km² wurde kürzlich veröffentlicht ([Beardsworth et al. 2021](#)) und bestätigt die Funktionalität des Systems. Allerdings ist bei Systemen, die auf Laufzeitmessung basieren, zu bedenken, dass diese für die Nutzung in struktur- und vegetationsarmen Gebieten optimiert sind. In komplexen Habitaten kommt es durch Reflexion und Abschattung des Signals schnell zu deutlich höheren Ortungsfehlern.

Im letzten Jahrzehnt haben sich durch die rasanten Entwicklungen auf dem Mobilfunkmarkt und im Bereich ‚Internet of Things‘ und ‚Industrie 4.0‘ wiederum neue Möglichkeiten ergeben, neuartige, ‚smartere‘ Tiertracker zu entwerfen, deren Funktionalitäten deutlich über das klassische Tracking, sprich die Analyse von Bewegungsmustern, hinausgehen.

3. Drahtlose Sensornetzwerke in der Wildtierbeobachtung

Besonders die Anwendungen im Bereich der ‚wearables‘-Industrie (zum Beispiel Smartwatches und Fitnesstracker) bieten Funktionalitäten, die nah verwandt sind zu Anforderungen bei der Tierbeobachtung: Beschleunigungssensoren prüfen die Aktivität des Nutzers, optische Sensoren messen den Puls, Temperatursensoren die Körpertemperatur und über eine drahtlose Schnittstelle werden Daten permanent mit dem Mobiltelefon ausgetauscht. Man spricht von einem drahtlosen Sensornetzwerk, wenn sich mehrere solcher Einheiten (‚Sensorknoten‘), die Messsensorik und eine Kommunikationsschnittstelle beinhalten, in ein Netzwerk organisieren und Daten austauschen. Die erste Anwendung im Bereich der Wildtierbeobachtung fanden solche drahtlosen Sensornetzwerke im [ZebraNet](#) Projekt (Juang et al. 2002). Hier wurde zunächst die Position von Zebras per GPS dokumentiert und lokal gespeichert. Bei der Begegnung zweier besenderter Zebras konnten nun die GPS-Halsbänder kommunizieren und ihre Daten austauschen, wodurch die Trackingdaten für jedes Tier in der Folge in Kopie auf einer Vielzahl von Individuen vorlag. Da die Datenakquise per Antenne vom Auto aus erfolgen musste, konnten die Wissenschaftler*innen mit Kontakt zu nur wenigen Tieren, die Daten von einer Vielzahl an Tieren herunterladen. Die Kommunikation von Tier zu Tier ermöglicht nun eine Vielzahl neuer Anwendungen, die sich durch die voranschreitende Miniaturisierung von Sensorik und Elektronik mittlerweile auch für deutlich kleinere Tiere einsetzen lässt.

Im Rahmen einer DFG-geförderten Forschungsgruppe (Betriebs-adaptive Tracking Sensorsystem, [BATS](#)) haben Wissenschaftler*innen aus den Fachbereichen Biologie,

Elektronik und Informatik ein neuartiges Trackingsystem basierend auf drahtloser Sensornetzwerktechnologie entworfen und in mehrjährigen Feldversuchen an freilebenden Fledermäusen getestet (siehe [Ripperger et al. 2020](#)). Ziel des Projektes war, ein vollautomatisiertes Tracking bei einem Sensorknotengewicht von 1-2 g zu ermöglichen. Zur Funktionalität zählten das Aufzeichnen von hochauflösende Bewegungstrajektorien über Bereiche von einigen Hektar Fläche mittels bodengestützten Empfängern. Anders als im oben genannten ATLAS System sollte im BATS Projekt ein Ortungssystem entstehen, das hochauflösende Trajektorien auch in stark strukturiertem Habitat (z.B. Wald) liefert. Daher wurde hierbei keine Laufzeitmessung genutzt, sondern signalstärkebasierte Richtungsschätzung. Diese Methode liefert selbst in einem Altbestand eine Positionsgenauigkeit von < 5 m Fehler. Allerdings erfordert diese Methode einen sehr hohen Arbeitsaufwand für die Datennachbereitung und zusätzliche Bodeninfrastruktur (für eine detaillierte Beschreibung siehe [Ripperger et al. 2020](#)).

Eine weitere innovative Funktionalität des BATS System ist die Dokumentation von Tier-zu-Tierkontakten im Sekundentakt durch Kommunikation zwischen Sensorknoten auf Tieren. Hierzu wird als zusätzliche Hardware lediglich eine Bodenstation zum drahtlosen und vollautomatisierten Datendownload benötigt. Im Folgenden werden einige mögliche Anwendungen, die sich aus diesem neuartigen Weg der Datenakquise ergeben, genauer betrachtet. Die neuartigen Sensorknoten können entweder nur auf Tieren aufgebracht werden (siehe Abbildung 1A für einen ‚nackten‘ Sensorknoten sowie 1C für eine besenderte Fledermaus; hierzu wird der Knoten samt Batterie in Nitril eingehaust; Gesamtgewicht 0.9 - 1 g). Hierbei könnten Kontakte zwischen Tieren völlig unabhängig von Bodeninfrastruktur überwacht werden. Ebenso können Sensorknoten gleichzeitig auf Tieren und an Ressourcen angebracht werden (z.B. an Quartieren, Nahrungsquellen oder Passagen wie Grünbrücken; Abbildung 1B: hierzu werden robustere Versionen von Sensorknoten genutzt, die sich durch eine größere Sendereichte und längere Betriebsdauern auszeichnen). Dokumentiert wird im Anschluss die Nutzung dieser Ressourcen durch besenderte Individuen. Schließlich können die Sensorknoten auch stationär in der Fläche ausgebracht werden, um Habitatnutzung zu untersuchen. Die Anwendung hängt dabei jeweils stark von der zu untersuchenden Tiergruppe und deren Mobilität ab. Im Folgenden nenne ich Beispiele von bereits durchgeführten oder geplanten Projekten.

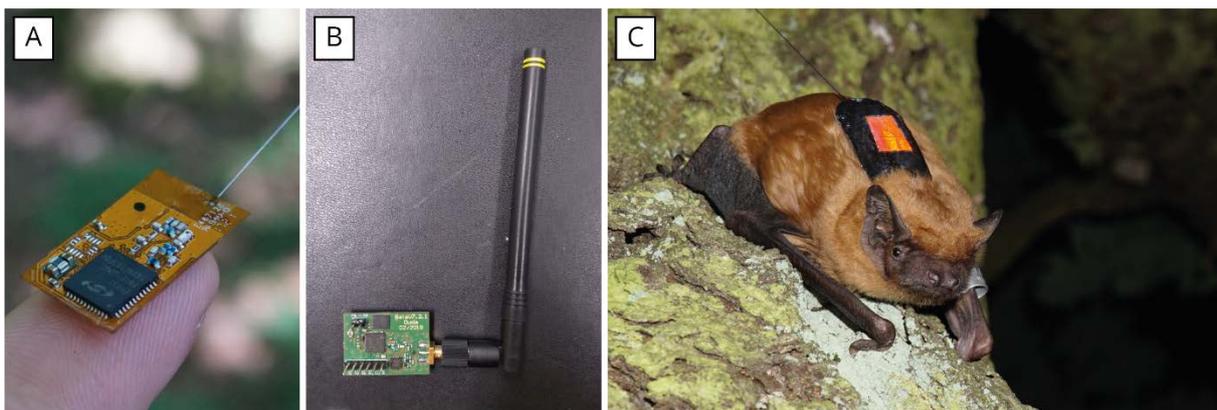


Abbildung 1, A: ‚Nackter‘, tiergebundener Sensorknoten ohne Batterie und ohne Gehäuse; B: stationärer Sensorknoten; C: Besendertes Großes Abendsegler. © Simon Ripperger

3.1 Dokumentation sozialer Netzwerke

Interaktionen zwischen Individuen lassen sich gerade bei hochmobilen Tieren wie Fledermäusen mittels klassischer Methoden nur sehr schwer dokumentieren. Dies ist nun

durch Kommunikation zwischen tiergebundenen Sensorknoten erstmals möglich. In einer Pilotstudie untersuchten wir soziales Lernverhalten in Wochenstuben des großen Abendseglers. Besondere wurden Jungtiere und ihre Mütter. Anhand der Sensorknoten konnten wir den Kontakt zwischen Müttern und Jungtieren, sowie den Kontakt zum Rest der Kolonie rund um die Uhr und im Sekundentakt nachverfolgen. Es zeigte sich, dass Mütter ihre Jungtiere zu neuen Quartieren leiten, indem sie zusammen von Quartier zu Quartier fliegen ([Ripperger et al. 2019](#)). Soziale Netzwerke lassen sich ferner im Rahmen experimenteller Manipulation untersuchen. So ließen sich erstmal die Effekte von Krankheitssymptomen auf soziale Dynamiken bei freilebenden Fledermäusen untersuchen ([Ripperger et al. 2020](#)). Entsprechende Studien liefern wertvolle, empirische Daten, mit denen sich hoffentlich in Zukunft die Dynamiken von Zoonosen besser modellieren und dadurch besser verstehen lassen.

3.2 Monitoring von ‚Points of Interests‘

Zusätzlich zu tiergebundenen Sensorknoten lassen sich durch stationäre Sensorknoten Besuchsraten an ‚Points of Interests‘ dokumentieren. Dabei werden Besuche dokumentiert, wenn zwei Sensorknoten eine Distanz von ca. 10 m unterschreiten. In einem aktuellen Projekt untersuchen wir Fouragierstrategien nektartrinkender Fledermäuse in Costa Rica. Hierzu werden neben besondern Fledermäusen auch Sensorknoten an natürlichen Blütenressourcen installiert. Blütenbesuche dauern oft nur einige hundert Millisekunden. Trotzdem können diese dank hoher Datenraten zuverlässig dokumentiert werden. Ebenso können Quartiere oder Quartiereingänge mit Sensorknoten ausgestattet und deren Nutzung dauerhaft überwacht werden. Denkbar wäre ebenso die Nutzung von Grünbrücken oder Amphibienleitsystemen zu überwachen (Abbildung 2A). Durch eine lineare Anordnung von mindestens zwei Sensorknoten kann auch eine Richtungsinformation generiert werden.

3.3 Analysen zur Habitatnutzung

Auch grobe Analysen zur Habitatnutzung lassen sich durch die Anordnung stationärer Sensorknoten in einem Gitter durchführen. Hierzu planen wir derzeit ein Projekt zur Habitatnutzung von Zauneidechsen an Bahntrassen (Abbildung 2B). Gerade in Gebieten mit einem harten Übergang zwischen Vegetations- oder Habitatsbereichen lassen sich Sensorknoten so ausrichten, dass pro Sensorknoten ein homogener Bereich abgedeckt wird. Anschließend lassen sich zwar keine Bewegungstrajektorien nachvollziehen, jedoch lassen sich ‚Heatmaps‘ zur Habitatsnutzung über die Zeit erstellen (z.B. welche Habitatsbereiche wurden im Tagesverlauf wie stark genutzt).

3.4 Integration zusätzlicher Sensorik

Ein großer Vorteil digitaler Sensorknoten ist, dass diese nach einem Baukastenprinzip aufgebaut sind und sich zusätzliche Sensorik leicht integrieren lässt. Dadurch können neben den oben beschriebenen Funktionen simultan zusätzliche Daten gesammelt werden. Mittels Beschleunigungssensoren können beispielsweise Aktivitätsperioden besonderer Tiere bestimmt werden um so automatisiert und adaptiv Datenraten anzupassen (z.B. niedrige Datenrate und dadurch geringer Stromverbrauch bei Inaktivität). Je nach Aufbau des Sensorknotens können mittels Temperaturfühler Umgebungs- oder Hauttemperatur gemessen werden und später mit Aktivitätsprofilen verschnitten werden. Selbst der Herzschlag lässt sich messen durch einen in den Sensorknoten integrierten EKG-Chip, der mittels auf die Haut aufgeklebter Elektroden den Puls detektiert ([Duda et al. 2020](#)).

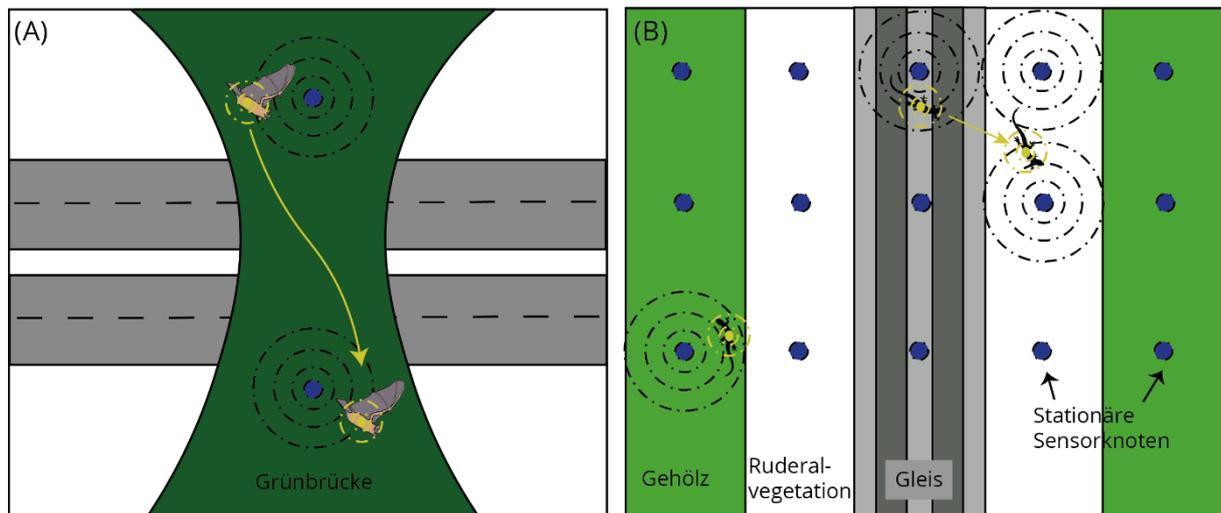


Abbildung 2, A: Monitoring von ‚Points of Interest‘ am Beispiel Grünbrücke. Besenderte Tiere, die die Grünbrücke queren, werden von stationären Sensorknoten erfasst. Durch den Einsatz von zwei oder mehr Sensorknoten lässt sich die Richtung der Querung bestimmen. B: Tracking von Eidechsen entlang des Gleisbetts. Ein regelmäßiges Gitter stationärer Sensorknoten dokumentiert an jedem Sensorknoten (blau), ob sich im Umkreis von bis zu 10 m besenderte Tiere (gelb) befinden. Abtastraten können beliebig gewählt werden (1/s, 1/min etc). Aus den anfallenden Daten lassen sich Karten zur Habitatnutzung im Verlauf der Zeit erstellen. © Simon Ripperger; Linienzeichnungen von Fledermäusen: © Elke Siebert, MfN.

4. Abschließende Bewertung und Ausblick

Drahtlose Sensornetzwerke werden in der Zukunft im Bereich der Wildtierbeobachtung eine immer dominantere Rolle spielen. Durch den modularen Aufbau von tiergebundenen oder stationären Sensorknoten lässt sich Trackinghardware gezielt auf individuelle Projekte und Fragestellungen zuschneiden. Durch die rasanten Entwicklungen im Bereich der Verbraucherelektronik wird es auch für die Wildtierbeobachtung immer neue, innovative und stetig kleiner werdende Sensorik auf dem Markt geben. Auch bei der lang ersehnten, jedoch bisher ausbleibenden Revolution im Bereich der Batterietechnologie lassen sich drahtlose Sensornetze so entwerfen, dass der Stromverbrauch softwareseitig minimiert wird (Stichwort ‚energy-aware computing‘) oder Datenraten dynamisch und adaptiv anpassbar sind (Z.B. abhängig von Aktivität). Wiederverwendbarkeit von Komponenten, die häufig mit wieder aufladbaren Batterien betrieben werden, können über lange Sicht Projektkosten dramatisch senken. Schließlich ist ein weiterer, vielversprechender Aspekt die stetig wachsende Community (z.B. [Wildlabs](#)), von der eine Vielzahl interdisziplinärer Projekte vorangetrieben wird, kostengünstig Tools für diverse Zwecke u.A. im Bereich des Naturschutz zu entwerfen und häufig unter offener Lizenzierung verfügbar zu machen.

5. Literatur

Beardsworth, Christine E., et al. "Validating a high-throughput tracking system: ATLAS as a regional-scale alternative to GPS." *bioRxiv* (2021).

Duda, Niklas, et al. "Low-weight noninvasive heart beat detector for small airborne vertebrates." *IEEE Sensors Letters* 4.2 (2020): 1-4.

Juang, Philo, et al. "Energy-efficient computing for wildlife tracking: Design tradeoffs and early experiences with ZebraNet." *Proceedings of the 10th international conference on Architectural support for programming languages and operating systems*. 2002.

Kays, Roland, et al. "Terrestrial animal tracking as an eye on life and planet." *Science* 348.6240 (2015).

Ripperger, Simon, et al. "Proximity sensors on common noctule bats reveal evidence that mothers guide juveniles to roosts but not food." *Biology letters* 15.2 (2019): 20180884.

Ripperger, Simon P., et al. "Thinking small: next-generation sensor networks close the size gap in vertebrate biologging." *PLoS biology* 18.4 (2020): e3000655.

Ripperger, Simon P., Sebastian Stockmaier, and Gerald G. Carter. "Tracking sickness effects on social encounters via continuous proximity sensing in wild vampire bats." *Behavioral Ecology* 31.6 (2020): 1296-1302.

Seegar, William S., et al. "Fifteen years of satellite tracking development and application to wildlife research and conservation." *Johns Hopkins APL Technical Digest* 17.4 (1996): 401-411.

Pheromondetektion zum Nachweis von Neunaugen in Fließgewässern

Dr. Annick Garniel, Kieler Institut für Landschaftsökologie / garniel@kifl.de

1 Anlass und Hintergrund

Pheromone sind Botenstoffe zur Informationsübertragung zwischen Individuen einer Art. Im Falle der Neunaugen handelt es sich um Duftstoffe, die in der Gallenblase erzeugt werden. Neunaugen und Fische verfügen über einen hoch entwickelten Geruchssinn. Duftstoffe spielen insb. bei wandernden Arten eine sehr wichtige Rolle.

Die Detektion von Neunaugen mittels Pheromone wird bislang nur in Nordamerika praktiziert. In den Großen Seen an der Grenze zwischen den USA und Kanada hat sich das Meerneunauge invasiv ausgebreitet und erhebliche Schäden der heimischen Fischfauna und der Fischereiwirtschaft ausgelöst. Es handelt sich um dieselbe Art, die im gesamten Nordatlantik und damit auch in Europa heimisch ist. Anders als in Flusssystemen mit Verbindung zum Meer verhalten sich die "land-locked" Populationen der Großen Seen stark invasiv. Sie haben ihr anadromes¹ Wanderungsmuster beibehalten. Sie verbringen ihre adulte Phase in den Großen Seen, die abgesehen von ihrem limnischen Charakter von meerähnlichem Umfang sind². Zur Reproduktion steigen sie in die Flüsse, die in die Großen Seen münden.

Die Bekämpfung des Meerneunauges gehört zu den wichtigsten Aufgabenbereichen der grenzüberschreitenden Great Lakes Fishery Commission (<http://www.glfsc.org/>). Seit Mitte der 1960er Jahre werden ca. 200 befallene Gewässer in 3 bis 4-jährigem Turnus mit sog. Lamprizide (vom Lat. *Lampetra*: Neunauge, en: lamprey) behandelt (Übersicht u.a. in Wilkie et al. 2019). In den letzten 25 Jahren wurde nach alternativen Methoden zur Reduzierung des Pestizideinsatzes gesucht. In diesem Zusammenhang richtete sich die Aufmerksamkeit auf artspezifische Lockstoffe, die das Aufstiegsverhalten der Neunaugen in das Gewässernetz lenken. Nach intensiver Forschung wurden Stoffe identifiziert, die als Lockstoffe bzw. als Repellent wirken. Aktuell wird an einer "push-pull"-Strategie gearbeitet, um die Meerneunaugen in Fließstrecken zu locken, wo sie sich leicht bekämpfen lassen oder wo sie keine Reproduktionssaussichten haben. Damit sollen sie von besonders schützenswerten Teilen des Gewässerssystems ferngehalten werden (<http://www.glfsc.org/control.php>).

Die Anregung für den vorliegenden Kurzbeitrag stammt aus einer Veröffentlichung von Fachleuten aus Nordamerika und Portugal (Hansen et al. 2016). Darin wird darüber nachgedacht, wie die gewonnenen Erkenntnisse nicht nur zur Bekämpfung der invasiven Population in den Great Lakes, sondern auch zur Förderung der Art, dort wo sie gefährdet ist, eingesetzt werden könnten. Die Verfahren, die zum Pheromonnachweis in Wasserproben wurden entwickelt, eignen sich potenziell zur Erfassung der Art.

Die folgenden Ausführungen basieren auf einer Auswertung der aktuellen Fachliteratur aus Nordamerika. Die Literaturrecherche erbrachte keine Hinweise auf Forschungsaktivitäten aus Europa. Eine kurze, nicht repräsentative Umfrage unter Fischfachleuten aus Deutsch-

¹ Als "anadrom" werden Arten bezeichnet, die zur Reproduktion vom Meer ins Süßwasser aufsteigen.

² Lake Superior: ca. 83.000 km, Deutsche Bucht: ca. 77.000 km²

land bestätigte, dass die Rolle von Pheromonen im Verhalten von Neunaugen zwar allgemein bekannt ist, über einen Einsatz als Erfassungsmethode liegen weder konkrete Überlegungen noch Erfahrungen vor.

2 Navigation entlang von Duftpfaden

2.1 Pheromonproduktion beim Meerneunauge

Meerneunaugen produzieren in ihrer Gallenblase Säuren, die über die Kiemen (Adulte) bzw. über die Haut (Larven) ausgeschieden werden. Es wurden mehrere artspezifische Stoffe identifiziert (Verbindungen des Petromyzonols). Mindestens 4 Stoffe werden in größeren Mengen erzeugt und sind in Wasserproben nachweisbar (s. unten).

Als Lockmittel wirkende Substanzen werden von den männlichen Adulten ausgeschieden. Auch die Larven scheiden spezifische Substanzen in einem Umfang aus, der eine nachweisbare Konzentration im Flusswasser zur Folge hat (Übersicht u.a. in Siefkes 2017, Li et al. 2018). Darüber hinaus meiden aussteigende Tiere beider Geschlechter Flussabschnitte, in denen Artgenossen verletzt wurden. Stoffe, die bei Hautverletzungen ins Wasser gelangen oder aus der Biomasse von toten Artgenossen freigesetzt werden, wirken als Repellent (Dissanayake et al. 2019). Die lenkenden Effekte der als Pheromone wirkenden Substanzen wurden für das Meerneunauge sowohl im Labor als auch bei Feldversuchen als hoch signifikant nachgewiesen.

Beim Aufsteigen in einem Flusssystem orientieren sich adulte Meerneunaugen nach einer "Geruchskarte". Anders als früher vermutet wurde, steigen die Adulten nicht in erster Linie ihre Geburtsgewässer (sog. Homing), sondern in Gewässer auf, aus denen sie chemische Locksignale wahrnehmen. Mittlerweile ist nachgewiesen, dass der Aufstieg von Stoffen ausgelöst wird, die von den Larven produziert werden (u.a. Buchinger et al. 2015, Siefkes 2017). Sie beeinflussen die Auswahl des Gewässersystems vor den Flussmündungen (Meckley et al. 2014). Entlang der Aufstiegsstrecke findet somit eine Lenkung zu Abschnitten, in denen eine erfolgreiche Reproduktion schon stattgefunden hat. Fließstrecken ohne Larven sind hingegen weniger attraktiv. Die Wahrscheinlichkeit eines Aufstiegs ist dort sehr viel geringer und geht auf einzelne streunende männliche Tiere zurück. Mit einer raschen Neubesiedlung ist daher nur bei großen Wanderkohorten zu rechnen.

Die Laichgebiete finden sich flussaufwärts der Larvenhabitate. Beim Passieren der Larvenhabitate geht die Lockwirkung der larvalen Pheromone zurück. Die männlichen Tiere steigen weiter auf. Durch empirische Versuche konnte gezeigt werden, dass die später aufsteigenden weiblichen Tiere auf die Lockstoffe der Männchen stärker reagieren als auf die Lockstoffe der Larven. Diese Präferenz sorgt dafür, dass sich beide Geschlechter an den Laichplätzen einfinden (Buchinger et al. 2020).

Das Interesse der nordamerikanischen Forschung gilt nur dem invasiven Meerneunauge. Auch andere Neunaugenarten produzieren vergleichbare Stoffe. Für das ausschließlich in Europa vorkommende Flussneunauge (*Lampetra fluviatilis*) liegen auch Nachweise über artspezifische Pheromone vor (Yun 2012). Das in Europa vergleichsweise häufige Flussneunauge liegt bislang nicht im Fokus der Forschung. Untersuchungen über die Steuerung seines

Aufstiegsverhaltens durch Pheromone konnten im Rahmen der Literaturrecherche nicht gefunden werden.

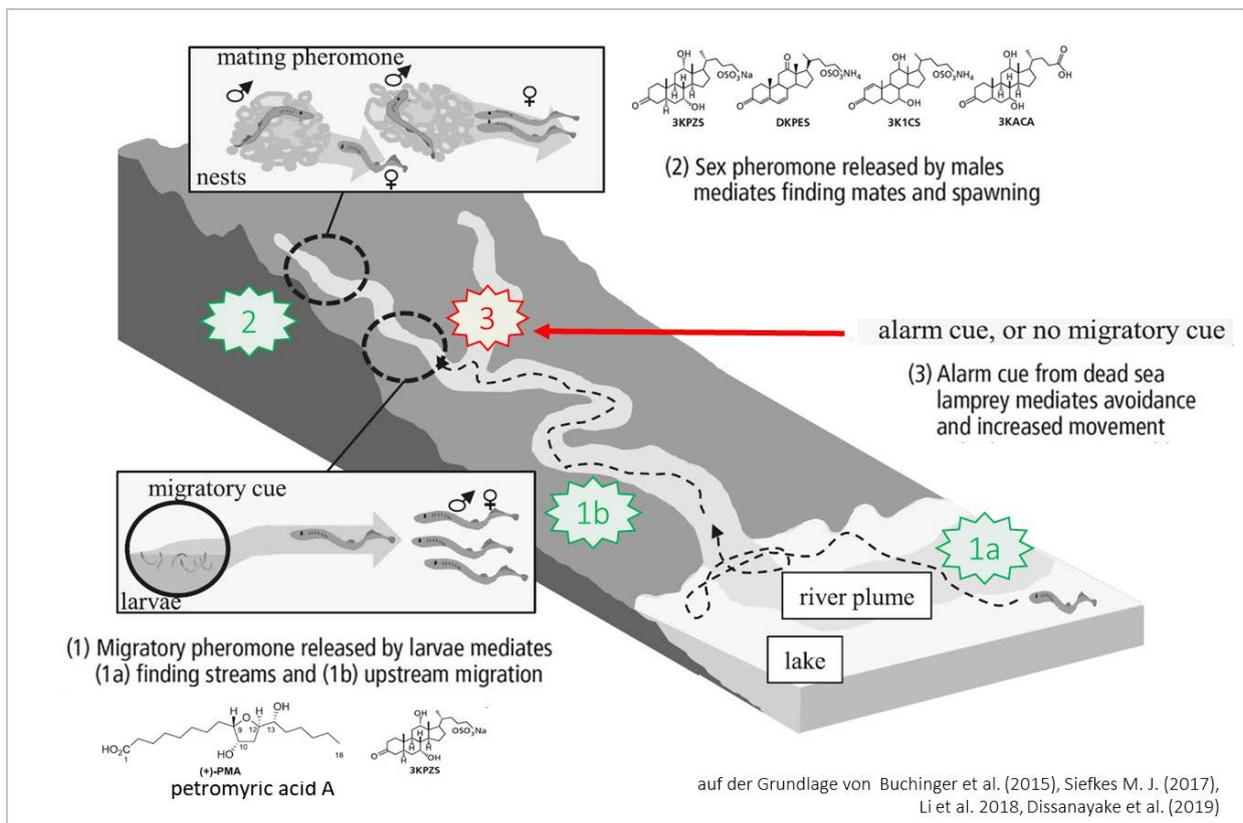


Abbildung 1: Rolle von olfaktorischen Signalen beim Aufstieg des Meerneunauges

2.2 Chemische Analyse und Nachweismöglichkeiten

Eine wesentliche Voraussetzung für den Einsatz der Pheromondetektion als Erfassungsmethode ist die Verfügbarkeit von standardisierten Nachweismethoden.

Die für das Verhalten maßgeblichen chemischen Verbindungen sind für das Meerneunauge bekannt. Es stehen Verfahren für ihren Nachweis aus Wasserproben zur Verfügung (USA, Kanada & China: u.a. Xi et al. 2011, Wang et al. 2013).

Die Stoffe lassen sich synthetisieren. Die synthetischen Nachbildungen lösen im Labor und im Feldversuch vergleichbare Wirkungen aus wie die natürlich erzeugten Verbindungen (Johnson et al. 2009, Meckley et al. 2012).

Die von den Männchen produzierten Botenstoffe haben eine Halbwertszeit von ca. 3 Tagen (Fine & Sorensen 2010). Bei den Lockstoffen der Larven handelt es sich um vergleichsweise stabile Fettsäuren, die auch längere Transportstrecken bis zu den Flussmündungen überdauern (Buchinger et al. 2015, Siefkes 2017).

3 Bisherige Anwendungen

In den Großen Seen Nordamerikas steht die Erforschung der Meerneunaugenpheromone unter dem Vorzeichen der Artbekämpfung. Mittlerweile hat sich gezeigt, dass die seit mehreren Jahrzehnten verwendeten Lampriziden – anders als ursprünglich angenommen – für andere Organismen nicht harmlos sind (Hepditch et al. 2019). Zudem wird die Entwicklung von Resistenzen befürchtet. Die übergeordnete Zielsetzung der Forschungsaktivitäten ist im Dokument "Strategic Vision of the Great Lakes Fishery Commission 2011–2020" beschrieben. In diesem Zusammenhang ist die Entwicklung von Erfassungsverfahren vorgesehen, die eine rasche Feststellung der räumlichen Verteilung und der relativen Abundanzen der Larven ermöglichen³ (GLFC 2013, S. 16).

"together, pheromones and alarm cues could be used in a "push-pull" technique—luring adults to traps, unsuitable spawning habitat, and areas that are easy and inexpensive to treat with lampricides, and repelling them from areas with productive spawning habitat and areas where control tactics are hard or expensive to implement."

(<http://www.glfsc.org/future-control-methods.php>)

Mittlerweile werden pheromongestützte Nachweisverfahren als Grundlage des Flussmanagements eingesetzt. Die Wiederherstellung der Durchgängigkeit von Flusssystemen kann die Ausbreitung der invasiven Art fördern. Dort, wo die Gefahr als beherrschbar eingestuft wird, werden mobile Aufstiegsbarrieren getestet, die vor der Aufstiegswanderung hochgefahren werden (<http://www.glfsc.org/barriers.php>, Zielinski et al. 2019).

4 Besteht ein Bedarf nach innovativen Erfassungsmethoden für anadrome Neunaugen?

4.1 Datenlage

In Deutschland kommen vier Neunaugenarten vor, die im Anhang II der FFH-RL als Arten geführt werden: das Meerneunauge (*Petromyzon marinus*), das Flussneunauge (*Lampetra fluviatilis*), das Bachneunauge (*Lampetra planeri*) und das in Deutschland extrem seltene Donau-Bachneunauge (*Eudontomyzon vladykovi*). Während die Bachneunaugenarten keine weiträumigen Wanderungen unternehmen, leben die anadromen Arten Meerneunauge und Flussneunauge als Adulte im Meer und steigen zur Reproduktion in die limnischen Abschnitte der Fließgewässer auf. Die Wanderstrecken können mehrere 100 km lang sein. Der Aufstieg beginnt im Brackwasserbereich der Flussmündungen mit einer längeren Gewöhnungsphase an geringe Salzkonzentrationen. Die eigentliche Laichphase in den Flüssen ist von relativ kurzer Dauer. Die adulten Tiere sterben wenige Tage nach dem Laichen. Die Entwicklung der Larven (sog. Querder) im Süßwasser erstreckt sich über mehrere Jahre. Sie leben eingegraben in feinkörnigen Flusssedimenten. Die Laichgebiete der Adulte und die Auf-

³ "Strategy 3: Improve existing and develop new rapid assessment methods to determine the distribution and relative abundance of larval sea lamprey populations". GLFC 2013, S. 16)

wuchsgebiete der Larven sind nicht identisch und können je nach Strömungs- und Sedimentverhältnissen voneinander weit entfernt liegen. Nach der Metamorphose zu einer schwimmfähigen Form verlassen die Jungneunaugen die Flüsse in Richtung Meer.

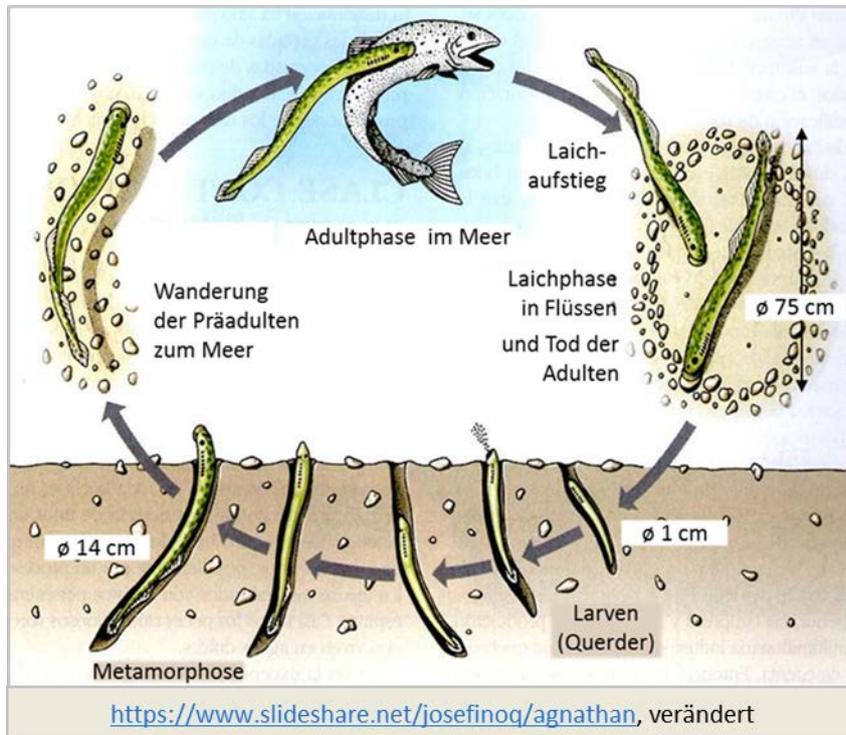


Abbildung 2: Lebenszyklus des Meerneunauges

Bei der Verträglichkeitsprüfung von Eingriffsvorhaben mit Auswirkungen auf Fließgewässer stellt die Erfassung der Neunaugenvorkommen eine wiederkehrende Frage dar. In manchen FFH-Gebieten gehören das Meerneunauge und das Flussneunauge zwar zu den Erhaltungszielen, die Meldungen beruhen jedoch häufig auf älteren Angaben, die seitdem nicht mehr durch Monitoring überprüft wurden.

Aufgrund der Besonderheiten ihrer Lebenszyklus werden anadrome Neunaugen bei den Erfassungen der Fischfauna im Rahmen des WRRM-Monitorings nur selten festgestellt. Weder die Erfassungstermine noch die Erfassungsmethoden sind für ihren Nachweis geeignet. Das FFH-Monitoring zur Bewertung des Erhaltungszustands der Arten findet auf der Ebene der biogeografischen Region in ausgewählten Stichprobenstrecken statt. Auch das für das Meerneunauge vorgesehene sog. Totalsensum beinhaltet ein Monitoring von bislang bekannten Vorkommen (BfN & BLAK 2017). Obwohl dem Meerneunauge und dem Flussneunauge als Anhang II-Arten eine besondere Prüf- und Genehmigungsrelevanz zukommt, ist die Datenglage über ihr Vorkommen häufig spärlich.

4.2 Herkömmliche Erfassungsmethoden

Zur Erfassung der aufsteigenden Adulten besteht die Möglichkeit, Zählungen an Fischaufstiegsanlagen durchzuführen. Da die Tiere meistens nachaktiv sind, setzt eine zuverlässige

Erfassung automatische Zählstationen an Fischaufstiegsanlagen voraus. Solche videogestützten Systeme werden in einigen EU-Ländern standardmäßig installiert (z.B. Frankreich u.a. www.migado.fr/category/stations-contrôle/, <https://www.migradour.com/stations/>, <https://www.observatoire-poissons-migrateurs-bretagne.fr/>). In Deutschland stellen sie weiterhin Ausnahmen dar.

Im Rahmen des FFH-Monitorings finden keine spezifischen Erfassungen von Neunaugen entlang der Wanderstrecken statt (BfN & BLAK 2017). Das Monitoring konzentriert sich auf die Reproduktionsgebiete.

Die Standardmethode zur Erfassung von adulten Neunaugen besteht aus Sichtbeobachtungen des Laichgeschehens und aus Zählungen von Laichgruben (BfN & BLAK 2017). Diese Beobachtungen sind nur für den kurzen Zeitraum der Laichphase möglich. Je nach Wassertemperaturen und Abflussverhältnisse kann sich das Laichgeschehen verschieben. Die Effizienz der Zählungen wird von den Sichtverhältnissen beeinflusst. Als Laichhabitate sind Stein- und Kiesbänke geeignet, die von Fachleuten zuverlässig abgegrenzt werden.

Die Beobachtung von Laichaktivitäten stellt für sich keine n Nachweis für den Reproduktionserfolg dar. Die Larven wachsen an anderen Standorten, nämlich in Sand- und Schlammhängen auf, zu denen sie durch die Strömung verdriftet werden. Während die Laichgebiete in der Regel gut lokalisierbar sind, verteilen sich die Larven auf Standorten, die in den meisten Flüssen weit verbreitet sind. Die Standardmethode zur Erfassung von Larven besteht aus Stichprobenerfassungen durch Ausgraben (mit Schaufeln und Stechzylindern) und Absieben. Auch die Elektrofischerei kann verwendet werden, die Nachweissicherheit der Methode gilt jedoch als eingeschränkt. Da die Larven im Sediment eingegraben leben, sind längere Einwirkzeiten der Stromspannung notwendig, die nicht unproblematisch sind. Die Larven besiedeln zudem auch Sedimente in größeren Wassertiefen, wo weder das Ausgraben noch die Elektrofischerei effektiv eingesetzt werden können. Beide Methoden sind invasiv und werden nur stichprobenhaft durchgeführt. Die Larvenerfassung ist als Monitoringmethode nach BfN & BLAK (2017) nicht verpflichtend vorgesehen.

4.3 Zwischenfazit

Es besteht ein bislang nicht gedeckter Bedarf nach nicht-invasiven Methoden zur Lokalisierung von besiedelten Larvenhabitaten. Von besonderem Interesse sind Erfassungsmethoden, die als Screening zur Überprüfung des Artvorkommens in Flusssystemen und zur Auswahl von geeigneten Stichprobenstandorten geeignet sein könnten.

5 Möglichkeiten und Grenzen innovativer Erfassungsmethoden für anadrome Neunaugen

5.1 eDNA-Nachweis

Es liegen einige Praxiserfahrungen über den eDNA-Nachweis von Neunaugen vor. Eine aktuelle Übersicht über Möglichkeiten und Grenzen der Methode für Neunaugen bietet der für Schottland ausgearbeitete Konzeptbericht von Zancolli et al. 2018.

Der Nachweis der adulten Meerneunaugen hat sich im Rahmen eines Pilotprojektes in Irland bewährt (Bracken et al. 2019). Die Nachweiswahrscheinlichkeit ist am höchsten, wenn die Tiere größere Laichgruppen bilden und wenn das genetische Material der gestorbenen Tiere nach dem Laichen in größeren Mengen freigesetzt wird.

Die Larven geben hingegen nur geringe Mengen von organischer Substanz ins Wasser ab. Dies ist zum einen auf ihre geringe Körpergröße (wenige cm) und zum anderen auf den Umstand zurückzuführen, dass sie im Sediment eingegraben sind. Sie sind bislang nur bei sehr hohen Larvendichten und in unmittelbarer Nähe der Vorkommen nachweisbar (Gingera et al. 2016). Für den Nachweis von Larven-eDNA aus Sedimentproben liegt seit 2020 eine Methode vor (Baltazar-Soares et al. 2020). Auch bei Sedimentproben gilt, dass der Nachweis nur eine punktuelle Gültigkeit besitzt. Bislang erlaubt der eDNA-Nachweis (noch?) kein Screening der Präsenz von Neunaugenlarven in Flusssystemen.

5.2 Pheromondetektion

Ein **Präsenznachweis von Adulten** ist während der Aufstiegs- und Laichzeit mittels Wasseranalytik möglich. Das Logistikproblem des kurzen und jährlich schwankenden Erfassungszeitfensters lässt sich dabei nicht besser lösen als durch den eDNA-Nachweis oder mit herkömmlichen Methoden.

Laichbeobachtungen und Laichgrubenzählungen sind nicht invasiv und liefern gute Ergebnisse. Die Erfassungen konzentrieren auf Habitatstrukturen, die in vielen Gewässern mittlerweile nicht mehr häufig sind und daher von Fachleuten in der Regel zuverlässig lokalisiert werden. Die Erfassungen stellen zwar Stichproben dar, aufgrund der gut abgrenzbaren Laichhabitate lässt sich die Auswahl der Erfassungsstandorte nachvollziehbar begründen. Eine Quantifizierung der Aufstiegskohorten könnte durch den Einsatz von automatisierten Zählstationen ergänzend erzielt werden. Nach Einschätzung der Beitragsautorin ergibt aus dem Nachweis von Adulten mittels Pheromonanalyse aktuell (noch?) kein signifikanter Erkenntnisgewinn.

Für den **Präsenznachweis von Larven** bietet die Pheromonmethode hingegen Vorteile. Die Methode ist nicht invasiv. Die Larven einer Generation wachsen über mehrere Jahre in den Fließgewässern heran und sind durchgängig nachweisbar. Es besteht daher die Möglichkeit der Beprobung in Zeiten mit Niedrigwasserabfluss, in denen die gesuchten Stoffe in höherer Konzentration vorliegen. Bei den Aufwuchshabitaten der Larven handelt es sich um Feinsedimentansammlungen, d.h. um Strukturelemente, die in vielen Fließgewässern weit verbreitet sind. Erfahrene Fachleute können zwar Sand- und Schlammflächen hinsichtlich ihrer Eignung differenziert einschätzen, bei den stichprobenhaften Querderfassungen wird ein deutlich geringer Anteil der potenziell geeigneten Habitate untersucht als bei den Sichtbeobachtungen am Laichplatz.

Die Larvendichte an beprobten Standorten ermöglicht für diese Standorte eine Quantifizierung der Vorkommen. Die Einschätzung des Umfangs der Reproduktion außerhalb der Probestellen basiert auf Hypothesen bezüglich der nicht erfassten "Dunkelziffer". Für Quantifizierungszwecke ist der bloße Präsenznachweis mittels Wasseranalyse möglicherweise nicht

wesentlich ungenauer als herkömmliche Methoden. Sollte sich bei Bezugnahme auf standardisierte Abflussmengen eine Skala der Konzentrationen (hoch, mittel, gering) aufstellen lassen, könnten sich auch im Hinblick auf eine halbquantitative Einschätzung der Vorkommensgrößen Vorteile ergeben.

6 Potenzielle Einsatzfelder

Wie die Meisten der im Rahmen des Tagungsbands vorgestellten innovativen Methoden kommt die Pheromondetektion in erster Linie als Ergänzung zu herkömmlichen Erfassungsmethoden in Frage. Im Unterschied zu einigen Methoden wie z.B. dem Nachweis von Amphibienarten mittels eDNA ist die Pheromondetektion – zumindest in Europa – von einer Praxisreife noch sehr weit entfernt. Die im Folgenden benannten Einsatzmöglichkeiten stellen daher bloß Anregungen dar, sich mit der Methode zu befassen.

6.1 Optimierung von herkömmlichen Erfassungsprogrammen

In Fließgewässern ist der Stofftransport flussabwärts gerichtet. Durch die Wahl der Probenstellen (z.B. oberhalb und unterhalb von Zusammenflüssen) lassen sich die Emissionsorte der Larvenpheromone schrittweise flussaufwärts lokalisieren. Soweit herkömmliche Erfassungen der Larvendichte erwünscht sind, lässt sich die Auswahl der Probenstellen transparent begründen. Der Nachweis von Larven mittels Pheromone wäre deshalb mit einem Erkenntnisgewinn verbunden.

6.2 Bewertung des Erhaltungszustands von Neunaugenpopulationen im FFH-Monitoring

Auf der Ebene eines Fließgewässersystems stellt die Quantifizierung des Larvenvorkommens mit herkömmlichen Methoden (vgl. BfN & BLAK 2017) eine Einschätzung dar. Inwieweit eine Einordnung in die Zustandsstufen A, B und C anhand von Pheromonkonzentrationen im Wasser erreichen lässt, bedarf einer Erprobung.

6.3 Großräumiges Screening des Vorkommens in Gewässersystemen

Die Datenlage über das Vorkommen von anadromen Neunaugen ist den einzelnen Bundesländern sehr heterogen. In manchen FFH-Gebieten, in denen das Meerneunauge und das Flussneunauge als Erhaltungsziele benannt wurden, hat seit der Gebietsmeldung kein Monitoring dieser Arten stattgefunden. Mit Ausnahme einer systematischen Untersuchung in Sachsen (Wolf & Zahn 2015) und Hinweise aus dem Monitoring des Lachses (z.B. in der Stepenitz in Brandenburg) ist im übrigen Flussgebiet der Elbe stromaufwärts des Wehres Geesthacht nicht bekannt, wo einige 100.000 Flussneunaugen, die seit 2010 an der Zählstation der neuen Fischaufstiegsanlage gezählt wurden (u.a. Hufgard et al. 2015), verblieben sind. Ein Screening mittels Pheromonnachweis könnte zur Überprüfung der Aktualität der Angaben, auf denen die damaligen Meldungen beruhten, beitragen. Diesbezügliche Informationen sind nicht nur für das Gebietsmanagement, sondern auch für die Festlegung der notwendigen Erfassungen als Planungsgrundlage für Eingriffsvorhaben von Relevanz. Inwieweit

die Pheromondetektion einen sicheren Nachweis über das Fehlen der Arten erbringen kann, müsste getestet werden.

6.4 Planung von Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen

Erst das Wissen darüber, ob und ggf. wo Neunaugen in einem Gewässersystem vorkommen, ermöglicht eine fundierte Prioritätensetzung für Erhaltungs- und Entwicklungsmaßnahmen im Rahmen des Natura 2000-Gebietsmanagements und der WRRL-Maßnahmenpläne. Anders als mit herkömmlichen Methoden eignet sich der Pheromonnachweis für ein übersichtmäßiges Screening des Vorkommens von anadromen Neunaugen in Fließgewässersystemen.

6.5 Förderung des Maßnahmenenerfolgs

Nachdem Aufstiegshindernisse beseitigt wurden, erhalten aufsteigende Tiere noch keine positiven Signale aus den Flussabschnitten, die für sie erreichbar geworden sind. Die Neubesiedlung geht von einzelnen männlichen Individuen aus, die nach Zufallsprinzip Gewässer erkunden. Wenn eine große Laichpopulation im Unterlauf des beseitigten Hindernisses vorhanden ist, kann damit gerechnet werden, dass eine spontane Besiedlung stattfinden wird. Kommt dort hingegen nur ein kleiner Laichbestand mit geringer Reproduktionserfolg vor, wird sich die Besiedlung voraussichtlich verzögern, weil die Wahrscheinlichkeit, dass einzelne Tiere die neu erreichbaren Gewässerabschnitte erkunden, dementsprechend gering ist. Wenn große Larvenvorkommen den Aufstieg in andere Flüsse desselben Systems lenken, kann eine spontane Neubesiedlung u.U. lange ausbleiben.

Die Lockwirkung von Larvenpheromonen auf aufsteigende Neunaugen wurde in Nordamerika empirisch nachgewiesen. Es ist prinzipiell möglich, die Attraktivität des Oberlaufs von beseitigten Aufstiegshindernissen durch Lockstoffe zu steigern. Hierfür ist es nicht notwendig, Larven aus vorhandenen Beständen zu entnehmen. Geräte, mit denen synthetisch erzeugte Meerneunaugenpheromone ausgebracht werden können, wurden in Nordamerika erfolgreich erprobt (Wagner et al. 2018). Als Voraussetzungen für eine solche "Bestandsmanipulation" müssen geeignete Laich- und Aufwuchshabitate in den neu erschlossenen Flussabschnitten vorhanden sein.

7 Quellen

Die folgenden Veröffentlichungen sind entweder im Internet frei verfügbar (open access) oder können von ihren Autoren über ResearchGate angefordert werden. Bei den in Fachzeitschriften erschienenen Aufsätzen handelt sich um peer reviewed Artikel.

Adam B. & S. Bader (2015): Der Doppelschlitzpass am Elbewehr Geesthacht - Bilanz des Fischaufstiegs über Europas größte Fischaufstiegsanlage nach fünf Jahren. <http://docplayer.org/28640781-Der-doppelschlitzpass-am-elbewehr-geesthacht.html>

BfN & BLAK (2017): Bewertungsschemata für die Bewertung des Erhaltungsgrades von Arten und Lebensraumtypen als Grundlage für ein bundesweites FFH-Monitoring - Teil I: Arten nach Anhang II und IV der FFH-Richtlinie (mit Ausnahme der marinen Säugetiere). Herausgegeben von Bundes-

- amt für Naturschutz (BfN) und dem Bund-Länder-Arbeitskreis (BLAK) FFH-Monitoring und Berichtspflicht. Bonn, Oktober 2017. 374 S. <https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/Skript480.pdf>
- Bracken et al. (2019): Identifying spawning sites and other critical habitat in lotic systems using eDNA “snapshots”: A case study using the Sea lamprey *Petromyzon marinus* L. - Ecology and Evolution. 2019;9: 553–567. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ece3.4777>
- Brant et al. (2013): Biosynthesis and release of pheromonal bile salts in mature male sea lamprey. BMC Biochemistry 2013, 14-30. https://www.researchgate.net/publication/258280149_Biosynthesis_and_release_of_pheromonal_bile_salts_in_mature_male_sea_lamprey
- Buchinger et al. (2015): Chemical cues and pheromones in the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) Frontiers in Zoology 2015 12:32. DOI 10.1186/s12983-015-0126-9. https://www.researchgate.net/publication/284729469_Chemical_cues_and_pheromones_in_the_sea_lamprey_Petromyzon_marinus
- Buchinger et al. (2020): A pheromone antagonist liberates female sea lamprey from a sensory trap to enable reliable communication. – PNAS 117/13: 7284–7289 <https://www.pnas.org/content/117/13/7284>
- Dissanayake A.A., Wagner C.M. & M.G. Nair (2019): Nitrogenous compounds characterized in the deterrent skin extract of migratory adult sea lamprey from the Great Lakes region. PLoS ONE 14(5): e0217417. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0217417>
- Fine J.M. & P.W. Sorensen (2010): Production and fate of the sea lamprey migratory pheromone. Fish Physiology and Biochemistry 36(4):1013-1020. DOI: 10.1007/s10695-010-9379-6. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10695-010-9379-6>
- Gingera et al. (2016): Detection and identification of lampreys in Great Lakes streams using environmental DNA- Journal of Great Lakes Research 42: 649–659. <http://www.ccubc.ca/PDF/2.Gingera%20et%20al.%202016%20eDNA%20for%20Lampreys%20in%20Great%20Lakes%20Streams.pdf>
- GLFC – Great Lakes Fishery Commission (2011): Strategic Vision of the Great Lakes Fishery Commission 2011–2020. <http://www.glfc.org/pubs/misc/StrategicVision2011.pdf>
- Hansen M.J., Madenjian C.P., Slade J.W., Steeves T.B., Almeida P.R. & B.R. Quintella (2016): Population ecology of the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) as an invasive species in the Laurentian Great Lakes and an imperiled species in Europe. Rev Fish Biol Fisheries (2016) 26:509–535. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11160-016-9440-3>
- Hepditch S.L.J., Tessier LR, Wilson JM, Birceanu O, O'Connor LM, Wilkie MP (2019) Mitigation of lampricide toxicity to juvenile lake sturgeon: the importance of water alkalinity and life stage. Conserv Physiol 7(1): cozo89; doi:10.1093/conphys/cozo89. https://www.researchgate.net/publication/337933249_Mitigation_of_lampricide_toxicity_to_juvenile_lake_sturgeon_the_importance_of_water_alkalinity_and_life_stage
- Wang H., Johnson N.S., Bernardy J. A. & W.Li (2013): Monitoring sea lamprey pheromones and their degradation using rapid stream-side extraction coupled with UPLC-MS/MS. Journal of Separation Science 36(9-10) DOI: 10.1002/jssc.201300110. https://www.researchgate.net/publication/236081557_Monitoring_sea_lamprey_pheromones_and_their_degradation_using_rapid_stream-side_extraction_coupled_with_UPLC-MSMS

- Johnson N.S., Yun S.S., Thompson H.T., Brant C.O. & W. Li (2009): A synthesized pheromone induces upstream movement in female sea lamprey and summons them into traps. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2009; 106: 1021–1026. <https://doi.org/10.1073/pnas>.
- Li K., Buchinger T.J. & W. Li (2018): Discovery and characterization of natural products that act as pheromones in fish. - Natural Product Reports. <https://pubs.rsc.org/en/content/getauthorversionpdf/C8NP00003D>
- Li K., Brant C.O., Huertas M., Hessler E.J., Mezei G., Scott A.M., Hoyer T.R. & W. Li (2018): Fatty acid derivative acts as a sea lamprey migratory pheromone. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1803169115
- Meckley T.D., Wagner C.M. & E. Gurarie (2014): Coastal movements of migrating sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in response to a partial pheromone added to river water: implications for management of invasive populations. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 71: 1–12. [dx.doi.org/10.1139/cjfas-2013-0487](https://doi.org/10.1139/cjfas-2013-0487). www.nrcresearchpress.com/cjfas
- Meckley T.D., Wagner C.M. & M.A. Luehring (2012): Field Evaluation of Larval Odor and Mixtures of Synthetic Pheromone Components for Attracting Migrating Sea Lampreys in Rivers. J Chem Ecol. DOI 10.1007/s10886-012-0159-x <https://www.researchgate.net/publication/229153052>
- Sachteleben, J. & M. Behrens (2010): Konzept zum Monitoring des Erhaltungszustandes von Lebensraumtypen und Arten der FFH-Richtlinie in Deutschland. - Ergebnisse des F+E-Vorhabens "Konzeptionelle Umsetzung der EU-Vorgaben zum FFH-Monitoring und Berichtspflichten in Deutschland". - BfN-Skripten 278, 183 Seiten. https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/service/Dokumente/skripten/skript_278.pdf
- Siefkes M. J. (2017): Use of physiological knowledge to control the invasive sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in the Laurentian Great Lakes. Conserv Physiol 5(1): cox031; doi:10.1093/conphys/cox03 https://www.researchgate.net/publication/317353117_Use_of_physiological_knowledge_to_control_the_invasive_sea_lamprey_Petromyzon_marinus_in_the_Laurentian_Great_Lakes
- Wagner C.M., Hanson J.E., Meckley T.D., Johnson N.S. & J.D. Bals (2018): A simple, cost-effective emitter for controlled release of fish pheromones: Development, testing, and application to management of the invasive sea lamprey. PLoS ONE 13(6): e0197569. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197569>
- Wilkie M.P., Hubert T.D., Boogaard M.A. & O. Birceanu (2019): Control of invasive sea lampreys using the piscicides TFM and niclosamide: Toxicology, successes & future prospects. – Aquatic Toxicology 211: 235–252. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.12.012> .
- Wolf R. & S. Zahn (2015): Lokalisierung und Monitoring der Verbreitung des Flussneunauges (*Lampetra fluviatilis*) in Sachsen. Schriftenreihe des LfULG, Heft 24/2015. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/25522>
- Xi X., Johnson N.S., Brant C.O., Yun S.-S., Chambers K.L., Jones A.D. & W. Li (2011): Quantification of a Male Sea Lamprey Pheromone in Tributaries of Laurentian Great Lakes by Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry. Environ. Sci. Technol. 2011, 45, 15, 6437–6443. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es200416f>
- Yun S. (2012): Comparative studies of bile acid release in the mature male lampreys. Fish Aquat Sci 15(1): 63-67. <https://www.yumpu.com/en/document/read/36300695/comparative-studies-of-bile-acid-release-in-the-mature-e-fasorg>

Zancolli, G., Foote, A., Seymour, M. & Creer, S. 2018. Assessing lamprey populations in Scottish rivers using eDNA: proof of concept. Scottish Natural Heritage Research Report No. 984. <https://www.nature.scot/sites/default/files/2018-05/Publication%202018%20-%20SNH%20Research%20Report%20984%20-%20Assessing%20lamprey%20populations%20in%20Scottish%20rivers%20using%20eDNA%20-%20proof%20of%20concept.pdf>

Zancolli, G., Foote, A., Seymour, M. & Creer, S. 2018. Assessing lamprey populations in Scottish rivers using eDNA: proof of concept. Scottish Natural Heritage Research Report No. 984. <https://www.nature.scot/sites/default/files/2018-05/Publication%202018%20-%20SNH%20Research%20Report%20984%20-%20Assessing%20lamprey%20populations%20in%20Scottish%20rivers%20using%20eDNA%20-%20proof%20of%20concept.pdf>

Zielinski D.P., McLaughlin R., Castro-Santos T., Paudel B., Hrodey P. & A.Muir (2019): Alternative Sea Lamprey Barrier Technologies: History as a Control Tool. Reviews in Fisheries Science & Aquaculture, 27:4, 438-457, DOI: 10.1080/23308249.2019.1625300. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/23308249.2019.1625300>

Akustische Vogelerfassung und automatisierte Artbestimmung

Dr. Hendrik Reers, OekoFor GbR

Die **OekoFor GbR** hat sich 2018 gegründet, mit dem Ziel ökologische Zusammenhänge innovativ zu erforschen und die Ergebnisse unserer Forschung auch praktisch anzuwenden. Daraus leiten sich die drei Hauptschwerpunkte unserer Arbeit ab: Forschung, data science und die Entwicklung automatisierter Erfassungsgeräte. Im Kern geht es um biologische Fragestellungen und mögliche technische Lösungen.

Bedingt durch den enormen technischen Fortschritt ist Technik leichter zugänglicher geworden, Hardware-Komponenten immer kostengünstiger und Software-Tools einfacher nutzbar (z.B. open-source Projekte). Zudem existiert eine weltweite, gut vernetzte Community, die auf technische Fragen (multiple) Lösungsansätze bieten kann. Dadurch, und aufgrund erwähnter open-source Software, sind u.a. auch komplexe Programmierungen aus dem Bereich der KI (künstliche Intelligenz), wie maschinelles Lernen, einem immer größeren Anwenderkreis zugänglich geworden.

Bezogen auf biologische Fragestellungen eröffnet diese Entwicklung grundlegend neue Herangehensweisen. Der menschliche Beobachter ist kein limitierender Faktor mehr, wobei es nicht darum geht, ihn zu „ersetzen“, sondern vielmehr darum, Möglichkeiten auszubauen. Vor dem Hintergrund neuer Datenerfassungstechniken und Auswertungsmethoden können Hypothesen anders gestellt und untersucht werden, mit dem Ziel, fundiertere Aussagen zu treffen und letztlich Untersuchungen bzw. Forschungen noch belastbarer zu machen. Eine wesentliche Rolle spielen dabei **große Datenmengen die generier-, verwalt- und auswertbar** sein müssen.

Die logische Folge sind automatisierte Daten-Erfassungen und automatisierte Daten-Auswertungen. Im Bereich der **automatisierte Daten-Erfassung** bietet der Markt mittlerweile sehr viele hilfreiche und kostengünstige Basis-Komponenten: sogenannte System-on-a-Chip (SoC) Einheiten (z.B. RaspberryPi und Arduino), elektronische Datenspeicher (z.B. SD-Karten bis 1 TB), Cloud-Service (z.B. für externe Datenspeicher, Datenverwaltung und externen Zugriff auf Programmierereinstellungen) und die Möglichkeit einer autarken Stromversorgung (z.B. via Solar-Panel). Aber auch die Realisierung einer **automatisierten Daten-Auswertung** ist durch die breitere Anwendung von KI im Bereich maschinelles Lernen (machine learning) leichter geworden. Vereinfacht geht es bei maschinellem Lernen um Mustererkennung durch Computer, basierend auf einem Trainingsdatensatz. Mittlerweile sind viele verschiedene Programmierumgebungen (sog. Frameworks) für maschinelles Lernen verfügbar, z.B. TensorFlow.

Basierend auf den genannten Möglichkeiten haben wir ein **energie-autarkes Gerät zur automatisierten, akustischen Erfassung von Vogelstimmen** entwickelt, den **ecoPi:Bird**. Der ecoPi:Bird besteht aus einer kompakten, wasserdichten Kunststoffbox (25x16 cm), an dessen unteren Außenseite sich das Aufnahme-Mikrofon befindet. Im Inneren der Box befindet sich das Herzstück des ecoPi:Bird, ein Raspberry Pi Einplatinencomputer (RPI, Raspberry Pi Foundation), der die Vogelrufe speichert und verarbeitet. In Kombination mit einem Erweiterungsmodul kann der RPI außerdem u.a. zeitlich gesteuert werden. Diese Funktion ist einerseits vor dem Hintergrund der entsprechenden Fragestellung wichtig. Und andererseits auch essenziell, wenn eine autarke Stromversorgung und kein Dauerbetrieb gewünscht sind. Die autarke Stromversorgung wird über ein Solar-Panel und eine 12 V Blei-Gel-Batterie sichergestellt.

Aktuell kommt der ecoPi:Bird im **BfN** (Bundesamt für Naturschutz) **Forschungsvorhaben „Betriebsmonitoring von WEA (Windenergieanlagen) im Wald im Hinblick auf die Avifauna“** zum Einsatz. Bei diesem Projekt geht es im Kern um die Fragestellung, ob Vögel Waldbereiche um WEA meiden. Der ecoPi:Bird soll hier u.a. entsprechende Daten liefern, wobei akustische Langzeiterfassungen mit 100 ecoPi:Bird Rekordern über zwei Jahre (2019 und 2020) hinweg durchgeführt werden. Sämtliche Geräte wurden von uns gebaut, vor Ort installiert sowie gewartet. Das Projekt wird in Kooperation mit der ARSU (Arbeitsgruppe für regionale Struktur- und Umweltforschung) GmbH realisiert. Zurzeit werden die Daten ausgewertet, abschließenden Aussagen können noch nicht gemacht werden. Den kompletten Projekthintergrund sowie detaillierte Informationen zu diesem Projekt finden sich unter dem unten aufgeführten Link¹. Außerdem besteht die Möglichkeit, ausgewählte Aufnahmen der Rekorder über den Online-Musikdienst Sound-Cloud anzuhören². Die gute Aufnahmequalität der Geräte wird dabei deutlich. Neben den Zielvogelarten konnten durch die Langzeiterfassungen auch andere Tiere akustisch erfasst werden, dabei sind interessante Aufnahmen gelungen.

In einem weiteren Projekt wird der ecoPi:Bird in abgewandelter Form im Neeracher Ried³, einem Feuchtgebiet in der Schweiz, eingesetzt. Im Auftrag von **BirdLife Schweiz** sollen hier Rallen akustisch erfasst werden. Dabei geht es einerseits um das Erfassen des Artenspektrums, aber auch um die Verortung der Vögel im Gebiet via **Stereoaufnahmen**. Für den **ecoPi:Bird2D** wurde der ursprüngliche Rekorder umgerüstet und ein zweites Mikrofon verbaut, welches die Aufnahme der Rufe in Stereo-Qualität erlaubt. Akustische Laufzeitdifferenzen zwischen den Mikrofonen ermöglichen es, den Winkel der Schallquelle zu bestimmen. Liegt die Information für die Richtung einer Schallquelle an zwei verschiedenen Standorten vor, so kann mittels Triangulation die Position des rufenden Vogels berechnet werden. Technisch konnten wir beim ecoPi:Bird2D auch einen Fernzugriff via GSM-Modul umsetzen. Dieser ermöglicht einerseits eine Funktionskontrolle und andererseits eine Aktualisierung der Systemzeit. Die erste Erfassungssaison 2020 konnte bereits erfolgreich abgeschlossen werden, eine weitere Erfassungssaison für das Jahr 2021 ist in Planung. Die Aufnahmequalität der Daten ist sehr gut und wird den Erwartungen gerecht. Zur Auswertung der Daten kann zum jetzigen Zeitpunkt aber noch keine Aussage gemacht werden, da die Daten erst noch entsprechend aufbereitet werden müssen.

Bei beiden Projekten werden riesige Datenmengen generiert. Mehrere zehntausend Aufnahmestunden müssen gesichtet werden, die nur mit enormem, personellem Aufwand „händisch“ auswertbar wären. Eine **automatisierte Auswertung** ist die logische Konsequenz. Dafür bietet sich der Einsatz von **maschinellem Lernen** an, mit dem Ziel, ein System derart zu „trainieren“, dass es automatisiert Vogelstimmen erkennt und bestimmt. In Anlehnung an die von Herrn Dr. Stefan Kahl & Team (TU Chemnitz/ Cornell Lab of Ornithology) entwickelte App zur Vogelbestimmung (**BirdNET**, <https://birdnet.cornell.edu/>), wird ein eigenes neuronales Netz zur automatisierten Erkennung und Bestimmung von Zielvogelarten entwickelt. Anhand der Ergebnisse soll das akustische Aktivitätsniveau dieser Zielvogelarten bestimmt werden.

Langfristig wird eine Live-Erkennung der Arten und eine entsprechende Live-Datenübermittlung angestrebt. Mit der Möglichkeit einer direkten Ergebnisübertragung bereits während der laufenden Erfassungen, wäre ein sehr flexibler Einsatz der Geräte möglich und, je nach Fragestellung, könnten Untersuchungen schneller abgeschlossen werden (bspw. Nachweise seltener Arten an spezifischen Standorten). Zudem erlaubt eine Live-Datenübermittlung auch eine regelmäßige Funktionskontrolle der Geräte aus der Ferne, ohne Wartungsarbeiten vor Ort.

Der ecoPi ist als **modular umrüstbare Einheit** aus technischen Bauteilen aufgesetzt worden, die je nach Fragestellung anpassbar- und/oder erweiterbar ist. Neben dem Umbau vom Mono-Aufnahmegerät (ecoPi:Bird) zum Stereo-Aufnahmegerät (ecoPi:Bird2D) haben wir nach dem gleichen Grundbauplan zusätzlich zwei weitere Erfassungseinheiten umgesetzt. Den ecoPi:Bug sowie den ecoPi:Bleep. Beide Geräte kommen jeweils in einem verschiedenen Projekt zur Anwendung.

Der **ecoPi:Bug** ist Teil eines weiteren **BfN Forschungsvorhabens „NatForWINSSENT II“**. Bei diesem langjährigen Projekt werden u.a. naturschutzfachliche Untersuchungen auf einem Windtestfeld durchgeführt. In diesem Zuge soll auch die vorherrschende Insektendichte untersucht und der Zusammenhang mit dem Auftreten von Fledermäusen an Windenergieanlagen geklärt werden. Die Insektendichte wird mit Hilfe des ecoPi:Bugs erfasst, wobei unser Ziel war, eine nicht-invasive und wartungsarme (v.a. hinsichtlich der aufwändigen Installation an Windmessmasten in bis zu 100m Höhe) Methode zu entwickeln. Das Ergebnis ist eine Insektenfotofalle, die Insekten einerseits durch UV-Licht anlockt und fotografiert, gleichzeitig aber auch den freien Luftraum um die Fotofalle fotografisch erfasst. Somit besteht der ecoPi:Bug aus diversen Kamera- und Lichtbauteilen, ähnelt im Grundprinzip aber dem bereits beschriebenen ecoPi:Bird. Bei diesem Projekt konnte bereits ein Fernzugriff umgesetzt werden. Aufnahmen durch die Insektenfotofallen können via Cloud direkt an uns übermittelt werden. Außerdem sind Änderungen in der Programmierung auf diese Weise gut möglich (z.B. Änderung der Anlockzeiten etc.). Da sich das Gerät noch in der Testphase befindet, sind diese flexiblen Einstellungsanpassungen von besonderer Bedeutung. Die Auswertung der Bilder wird hier ebenfalls automatisiert erfolgen. Das wesentliche Prinzip ist dabei, dass Helligkeitsunterschiede der Pixel zwischen Bildern verglichen werden und dadurch der Bedeckungsgrad der Anlockfläche mit Insekten bestimmt werden kann. Auf diese Weise wird letztlich ein Wert für die Insektenabundanz bestimmt, der dann mit anderen erhobenen Daten (Fledermausaktivität, Wetterdaten etc.) verschnitten werden kann. Das Projekt ist derzeit in einem laufenden Prozess, weshalb noch keine abschließenden Ergebnisse vorliegen. Informationen zu diesem Projekt finden sich unter dem unten aufgeführten Link⁴.

Der **ecoPi:Bleep** wurde in einem **Straßenbau-Projekt** in Norddeutschland, im Auftrag der **ARSU GmbH** eingesetzt. Hintergrund dieser Untersuchung war, häufige Flugwege von Fledermäusen im geplanten Trassengebiet zu lokalisieren, um entsprechende naturschutzfachliche Maßnahmen ableiten zu können. Klassischerweise wird bei solchen Fragestellungen eine Telemetrie von einzelnen Tieren durchgeführt, die mit hohem personellem Aufwand umgesetzt werden muss. Kostenbedingt liefern diese Art Untersuchungen daher meist nur eine geringe Datenmenge. Ziel war es demnach, einen Untersuchungsansatz umzusetzen, bei dem mehrere Tiere gleichzeitig erfasst werden können. Basierend auf dem open-source Projekt Radio-Tracking.eu⁵ konnte schließlich eine kostengünstige Telemetrie-Einheit, der ecoPi:Bleep, entwickelt werden. Auch hier ähnelt der Aufbau des ecoPi:Bleep sehr dem oben beschriebenen ecoPi:Bird. Im Gegensatz zu diesem besitzt der ecoPi:Bleep aber anstelle des Mikrofons eine Empfängerantenne. Durch die Installation einer entsprechenden Anzahl an ecoPi:Bleep Erfassungsgeräten, konnte das Raumnutzungsverhalten der Fledermäuse lokal untersucht werden. Die fest installierten Empfängerstationen gaben dabei Auskunft über die Flugwege und die Flugrichtung der Tiere innerhalb des Untersuchungsgebiets. Auf diese Weise konnten Schwerpunkte einer potenziellen Trassenkreuzung durch Fledermäuse identifiziert und entsprechende planerische Maßnahmen abgeleitet werden. Da das Prinzip auf fest installierten Empfängerstationen beruht, können Tiere nur im vorher definierten Untersuchungsgebiet erfasst werden. Diese Methode eignet sich daher nicht für alle Fragestellungen. Bei vielen Planungsverfahren kann sie aber sehr gut zur Anwendung kommen und eine solide Datengrundlage liefern.

Weitere Einsatzmöglichkeiten und/oder modulare Veränderungen des ecoPi in Bezug auf andere Fragestellungen sind möglich und werden angestrebt.



ecoPi:Bird



ecoPi:Bird2D



ecoPi:Bug



ecoPi:Bleep

Verschiedene Einsatzmöglichkeiten der modularen ecoPi-Einheiten

Weiterführende Links im Überblick:

ecoPi:Bird und ecoPi:Bird2D

- ¹<https://www.natur-und-erneuerbare.de/projektdatenbank/projekte/betriebsmonitoring-von-wea-im-wald-auswirkungen-auf-die-avifauna/>
- ²<https://soundcloud.com/user-759529721/sets>
- ³<https://www.birdlife.ch/de/content/naturzentrum-neeracherried>

ecoPi:Bug

- ⁴<https://www.natur-und-erneuerbare.de/projektdatenbank/projekte/natforwinsent-ii/>

ecoPi:Bleep

- ⁵<https://radio-tracking.eu/>

Drohngestützte Erfassung der Vegetation und ihrer bestandsbildenden Pflanzenarten

Von der visuellen zur automatisierten Klassifikation – Grundlagen für ein Monitoring

Heuner, Maike; Rommel, Edvinas; Fricke, Katharina; Baschek, Björn; Schröder, Uwe

1 Hintergrund

Die nachhaltige Unterhaltung und Entwicklung von Gewässern und somit auch der Bundeswasserstraßen wird von europäischen Richtlinien (z. B. Vogelschutzrichtlinie, Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie, Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)), nationalen Gesetzen (Wasserhaushaltsgesetz, Bundeswasserstraßengesetz, Bundesnaturschutzgesetz, Gesetzentwurf zum wasserwirtschaftlichen Ausbau), Strategien (Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel, Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt) und Programmen (z. B. Blaues Band Deutschland) gefordert bzw. gefördert. Um Entwicklungsfortschritte im Sinne des Eckpunktepapiers zur EU-Nachhaltigkeitsstrategie zu überprüfen und zu bewerten, ist Monitoring, d. h. eine systematische Erfassung (Protokollierung), Messungen und dauerhafte Beobachtungen von Veränderungen der Küsten- und Flussökosysteme, unabdingbar.

Die Fernerkundung bietet hervorragende Werkzeuge und Daten wie z. B. das europäische satellitengestützte Erdbeobachtungsprogramm Copernicus auf nationaler und globaler Ebene, um flächendeckende Beobachtungen durchzuführen. Aufgrund der linienhaften Strukturen und der sich schnell ändernden ökologischen Gradienten an Flüssen bedarf es häufig einer höheren räumlichen Auflösung, um Veränderungen sicher erfassen zu können. UAS (unmanned aerial system) und Tragschrauber (Gyrocopter) stellen gerade auf mikroregionaler bis lokaler Ebene eine höhere Auflösung als Satelliten und eine flexible und kostengünstige Alternative zum Flugzeug dar. Der folgende Beitrag zeigt unterschiedliche Methoden auf, wie drohngestützte Luftbilder ausgewertet werden können, um Vegetationsveränderungen an Beispielen der Tideelbe und am Rhein zu erfassen und für ein langjähriges Monitoring bereitzustellen.

2 Drohngestütztes Monitoring langjähriger Vegetationsveränderungen am Beispiel der Tideelbe anhand visueller Klassifikation

Die Tideelbe ist ein dynamisches Ästuar, eine gezeitengeprägte trichterförmige Flussmündung. Sie ist stark von Schifffahrt und Landwirtschaft geprägt und überformt. Bis heute muss der Fluss bis zum Hamburger Hafen an die tiefer und breiter werdenden Containerschiffe angepasst werden. Schon beim vergangenen Ausbau wurde im Rahmen der Umweltverträglichkeitsprüfung 1998/99 die Frage gestellt, ob Tideröhrichte, eine Veränderung durch den Ausbau erfahren. Sie bilden die dortige naturraumtypische Vegetation der süß- und der brackwasserbeeinflussten Ufer und sind dort als emerse Makrophyten eine biologische Qualitätskomponente der WRRL. Die Untersuchung dieser Frage ist Auslöser gewesen für ein flugzeuggestütztes Monitoring der Röhrichtbestände mit anschließender semi- bzw. automatisierter Luftbildauswertung (GÄHLER *et al.* 2002; PETERSEN *et al.* 2008). Mit dieser Datengrundlage ist festgestellt worden, dass sich die Röhrichte zwar aufgrund der Sedimentdynamik lokal fortwährend verändern, erodieren, aber andernorts auch ausbreiten. Jedoch ist kein deutlicher und stetiger Verlust aller Röhrichte in diesem Zeitraum zu verzeichnen (SCHRÖDER 2004; WSA 2011). Hingegen sind zwischen den Zuständen 1983 und 2010 insgesamt die Pionierrohrichte an der Tideelbe zurückgegangen (BUTZECK *et al.* 2016). Sie besiedeln den oberen Saum des Watts, also den Bereich der im Mittel tidebeeinflussten Wasserwechselzone. Im Vergleich hat das Schilf zugenommen (BUTZECK *et al.* 2016), welches oberhalb der Pionierrohrichte an der Grenze des mittleren Tidehochwassers landeinwärts wächst. Die Aufgabe der Beweissicherung zum aktuellen Ausbau (2018-2020) ist nun die Beobachtung der Röhrichtverbreitung unter dem Einfluss schiffsinduzierten Wellenschlags. Hierzu wird seit 2015 jährliche die Vegetation drohngestützt in drei wellenexponierten

Untersuchungsgebieten bis 12 Jahre nach Ausbau erfasst (SCHRÖDER *et al.* 2018; GRENZDÖRFFER & NAUMANN 2020). Jährliche Felduntersuchungen von Vegetation, Boden, Topographie und Pflanzenmerkmalen sowie die jährliche Bewertung der Untersuchungsgebiete nach WRRL unterstützen die Erfassung. Zudem wurden bzw. werden in einem 6-wöchigen Zeitraum Wellenhöhen, Strömungen und Schiffspassagen vor der geschlossenen Röhrlichtgrenze im Jahr 2016 und nach Ausbau 2022 gemessen (PETERS *et al.* 2016).

Die in Abbildung 1 und Abbildung 3 dargestellten Luftbilder basieren auf UAS-gestützten echtfarbigen Luftbildern der Phantom 4 Pro RTK mit einer räumlichen Auflösung von 1-2 cm. Des Weiteren unterstützen seit 2018 auch Multispektraldaten (UAV: ebee+ der Firma Sensefly und der Kamera Parrot Sequoia mit rotem, grünen, Red Edge-, und Nahinfrarot-Kanal und einer räumlichen Auflösung von 7-8 cm) die Auswertung.

Mit den Luftbildern werden die bestandsbildenden Röhrlichtarten sowie Watt, Hochstauden und Weidengehölz für die drei Untersuchungsgebiete von jeweils knapp zwei bis zu fünf Hektar jährlich visuell klassifiziert. Die Bearbeitenden können durch ihr visuelles Wahrnehmungsvermögen, ihr Vorwissen und ihre Erfahrungen Formen, Farben, Gestalt und Texturen von Objekten wie bestandsbildenden Pflanzenarten in den Kontext setzen und dadurch die Objekte klassifizieren. Die Objekterkennung durch den Mensch ist „enorm schnell und flexibel.“ (S. 37, NEUBERT (2006)). Dadurch kann die Qualität der Klassifikation bis heute mit der Qualität der automatischen Klassifikation durch künstliche Intelligenz wie dem maschinellen Lernen Schritt halten.

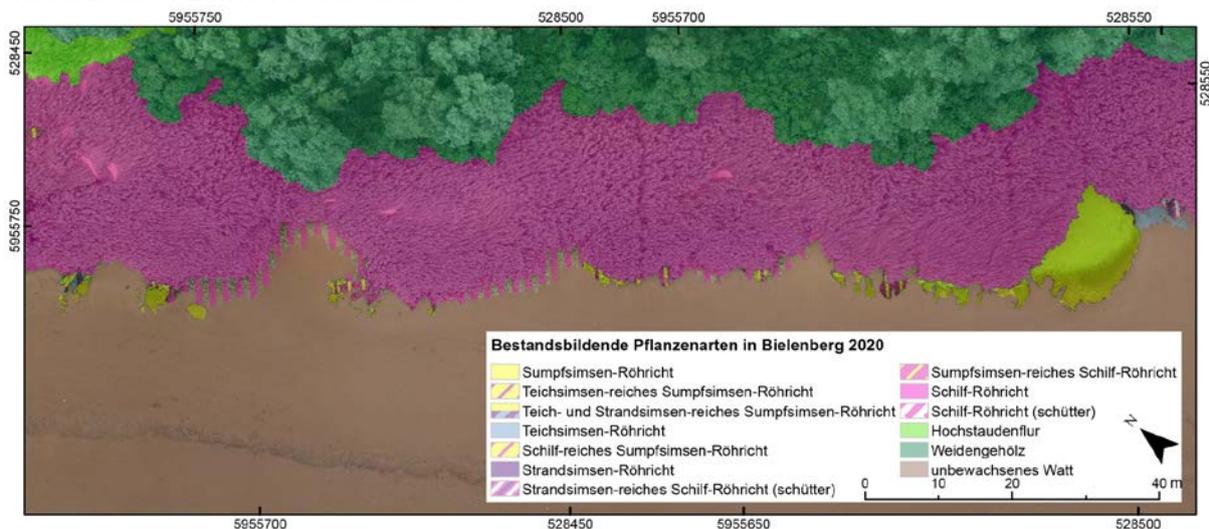


Abbildung 1: Luftbild von 2020 vom Untersuchungsgebiet Bielenberg des Makrophytenmonitorings an der Tideelbe mit visuell definierten bestandsbildenden Pflanzenarten.
Luftbilderfassung: Universität Rostock

Aufgrund der Bestimmung der Röhrlichtarten und Verortung mit Hilfe eines DGPS (Differential Global Positioning System)-Gerätes während der Felduntersuchungen, können die Bearbeitenden im Luftbild die Arten wiedererkennen. So ist es möglich, nicht nur Vegetationseinheiten wie Weidengehölz und Hochstauden, sondern auch bestandsbildende Mischbestände aus mehreren Röhrlichtarten zu klassifizieren (Abbildung 1). Zur besseren Darstellbarkeit sind in Abbildung 2 nur die dominanten Arten und nicht die Mischbestände aufgeführt, die sich über die Jahre verändern. Um die Entwicklungstendenz besser beurteilen zu können, werden die bestandsbildenden Klassen in Gruppen zusammengefasst (siehe Abbildung 3 und Tabelle 1).

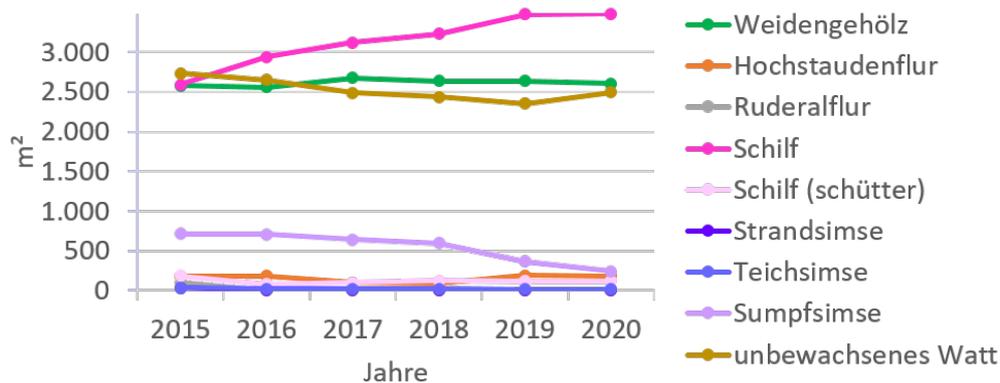


Abbildung 2: Bilanzierung der dominanten Röhrlichtarten (Sumpfsimse *Eleocharis uniglumis*, Teichsimse *Schoenoplectus spec.*, Strandsimse *Bolboschoenus maritimus*, Schilf *Phragmites australis*), des Weidengehölz, der Ruderal- und Hochstaudenfluren sowie des unbewachsenen Watts für die einzelne Jahre 2015 bis 2020 für das Untersuchungsgebiet Bielenberg des Makrophytenmonitorings an der Tideelbe. Die Wattfläche ist zur besseren Darstellbarkeit in der Grafik um 7000 m² reduziert worden.

Durch die Klassifikationen können die Flächenausdehnung für die Röhrlichtarten (*Eleocharis uniglumis*, *Schoenoplectus spec.*, *Bolboschoenus maritimus*, *Phragmites australis*), des Weidengehölz, der Ruderal- und Hochstaudenfluren sowie des Watts im geographischen Informationssystem berechnet und bilanziert werden.

Abbildung 2, Abbildung 3 und Tabelle 1 zeigen, dass im Fall von Bielenberg die Schilfflächen kontinuierlich zunehmen, v. a. im Südosten, und insgesamt für den Zeitraum um über 700 m² gewachsen sind. Hingegen hat die unbewachsene Wattfläche um ca. 370 m² abgenommen. Mit Ausnahme von 2020, ist die Abnahme ebenfalls kontinuierlich.

Tabelle 1: Gesamtbilanzierung der veränderten Vegetationseinheiten von 2015 bis 2020 des Untersuchungsgebiets Bielenberg des Makrophytenmonitorings an der Tideelbe [m²]

Vegetationseinheiten	unverändert	Rückgang	Sukzession	Gesamtbilanz
Pionierröhrichte	186	114	44	- 70
Röhrichte	2633	69	781	+ 712
Gehölz	2387	200	195	- 5
Hochstauden	112	12	36	+ 24
Watt	9363	368	-	- 368

Abbildung 2 stellt auch dar, dass insbesondere die Pionierart Sumpfsimse (*Eleocharis uniglumis*) seit 2018 zurückgeht, welches die Gesamtbilanz der Pionierröhrichte mit einer Abnahme um 70 m² widerspiegelt (Tabelle 1). Abbildung 3 zeigt, dass sich die Pionierröhricht im Untersuchungsgebiet nur im Südosten ausbreiten (Pionierröhrichtsukzession), im überwiegenden Nordwesten hingegen werden die Flächen eher erodiert.

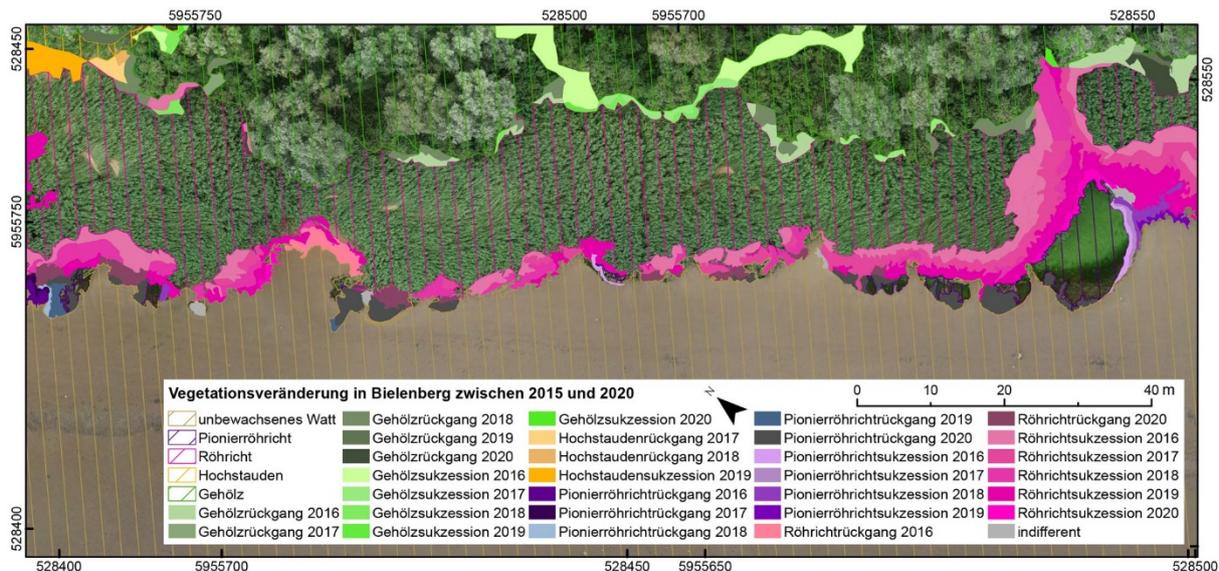


Abbildung 3: Luftbild von 2020 vom Untersuchungsgebiet Bielenberg des Makrophytenmonitorings an der Tideelbe mit der Veränderung der Vegetationseinheiten zwischen 2015 bis 2020. Luftbilderfassung: Universität Rostock

Das Beispiel Bielenberg zeigt, wie luftbildgestützte Monitoringflächen hinsichtlich ihrer Zielarten über einen längeren Zeitraum ausgewertet, dargestellt und bilanziert werden können. Hierbei ist zu erwähnen, dass das Verfahren der visuellen Klassifikation sich vor allem dazu eignet, mehrere Jahre miteinander zu vergleichen. Es ist weniger dazu geeignet, absolute Flächenwerte insbesondere von kleinen Flächen zweier einzelner Jahre zu vergleichen, da gerade die Festlegung der Vegetationsgrenze subjektiv ist, z.T. auch tagesformabhängige Spielräume zulässt (vgl. Abbildung 4). Zurzeit läuft eine Untersuchung zusammen mit dem mFund-Projekt mDRONES4rivers, wie der Vegetationsindex NDVI die Definition der Vegetationsgrenze an Gewässern objektivieren kann.

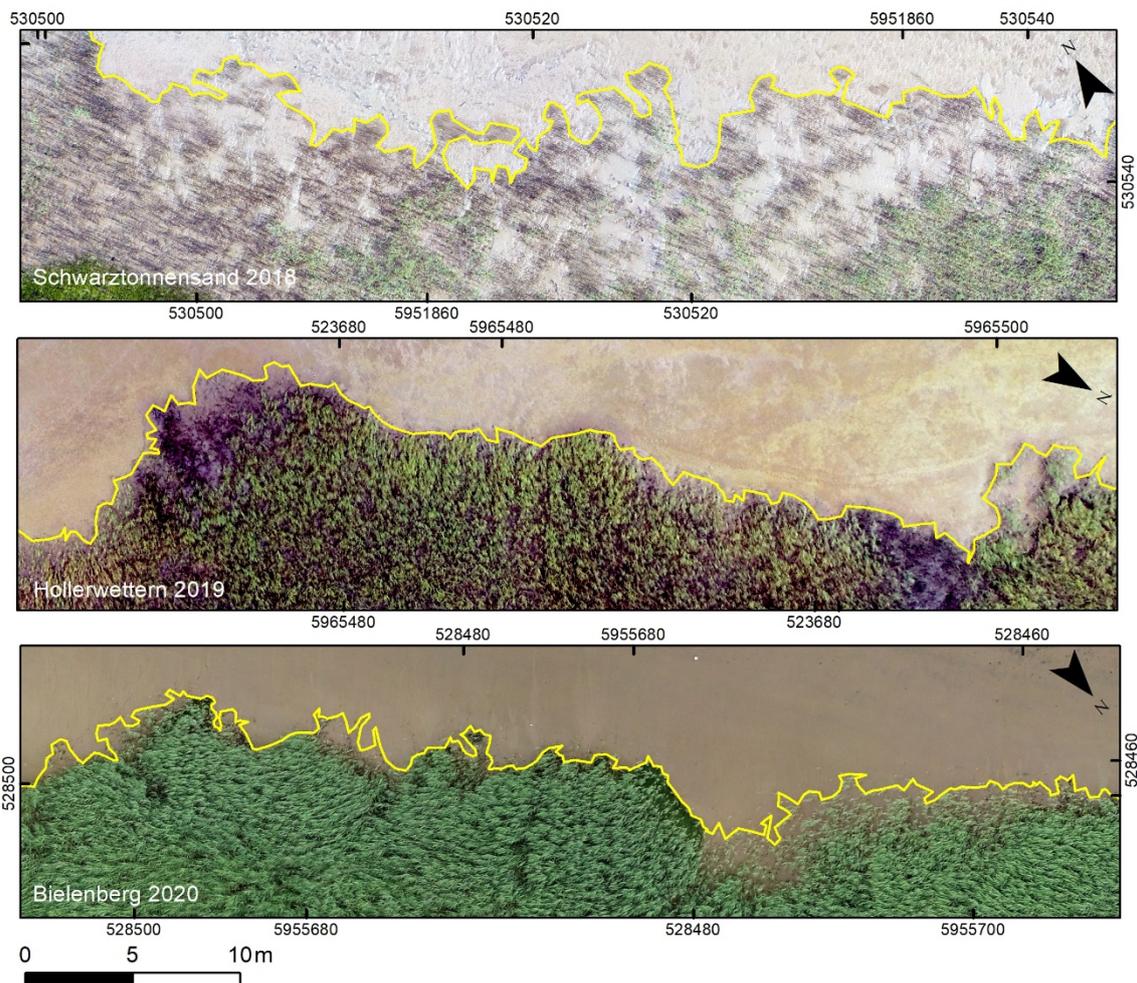


Abbildung 4: Ausschnitte der Luftbilder von den Untersuchungsgebieten des Makrophytenmonitorings an der Tideelbe mit visuell definierter Vegetationsgrenze (gelb) aus unterschiedlichen Jahren. Luftbildfassung: Universität Rostock

3 Drohnengestützte Methodenentwicklung zur automatisierten Klassifikation von bestandsbildenden Pflanzenarten am Beispiel der Rheins

Automatisierte Klassifikationsverfahren von Luftbildern zur Detektion von Landnutzungsklassen und Vegetationseinheiten erfreuen sich seit der Jahrtausendwende zunehmender Beliebtheit (siehe z. B. BLASCHKE *et al.* 2002). Die Qualität solcher Verfahren hängt stark von den verwendeten Fernerkundungsdaten und den zu klassifizierenden Einheiten ab. Hochaufgelöste Bilddaten und angepasste Auswerteverfahren sind insbesondere für Flussauen notwendig, weil aufgrund ihrer Überschwemmungsdynamik die Vegetation sehr heterogen und kleinräumig zusammengesetzt ist. Insbesondere diese Vielfalt ist für die ökologische Bewertung der Auen und ihr Management von Wichtigkeit. Der Forschungsbereich der Klassifikation von extrem hochaufgelösten Fernerkundungsdaten mit einer räumlichen Auflösung von wenigen cm oder kleiner in Auenökosystemen ist vergleichsweise jung und Ergebnisse variieren je nach verwendeten Methoden und Zieleinheiten (NGUYEN *et al.* 2019, VAN IERSEL *et al.* 2018, PANDE-CHHETRI *et al.* 2017). Das mFund-Projekt mDRONES4rivers (FKZ 19F2054) mit Federführung durch die BfG hat zum Ziel mithilfe von höchstauflösenden und multitemporalen Luftbilddaten praxistaugliche Methoden für die Vegetationserfassung und hydromorphologischer Strukturen an Bundeswasserstraßen zu prüfen und weiterzuentwickeln. Die multispektralen Luftbilddaten werden drohnengestützt von der Firma GEOOPTIX mit einer Micasense RedEdge Kamera aufgenommen. Die erfassten Luftbilddaten besitzen Kanäle im roten, grünen, blauen, Red

Edge- und Nahinfrarot-Bereich und einer Bodenauflösung von 5 cm. Ziel der vegetationskundlichen Auswertungen ist die möglichst automatische Klassifikation von Vegetationseinheiten mit unterschiedlichem Detailgrad (Basiseinheiten, Vegetationseinheiten, Dominanzbestände) unter der Verwendung von Methoden des maschinellen Lernens.

3.1. Verwendete Methoden

Die Verarbeitung der multispektralen Luftbilder erfolgt nach einem objektbasierten Klassifikationsverfahren, welches sich für hochaufgelöste Luftbilder bewährt hat (PANDE-CHHETRI *et al.* 2017). Als Eingangsdaten dienen verschiedene spektrale Indizes, Texturparameter, Oberflächenmodelle und ein hochaufgelöstes Überflutungsdauermodell (Abbildung 5(b)), welches neben Pegeldata auf einem digitalen Geländemodell (1m x 1m) entlang des Flusslaufs basiert (WEBER & ROSENZWEIG in Vorbereitung). Bei einer objektbasierten Klassifikation werden die Eingangsdaten vor der eigentlichen Klassifikation in homogene Segmente eingeteilt. Hierfür wird die Software eCognition verwendet (Abbildung 5 (c)). Alle weiteren Verarbeitungsschritte erfolgen in der frei verfügbare Programmiersprache R (R CORE TEAM 2020). Mit der Selektionsmethode „impurity“ aus dem R-Paket „ranger“ (WRIGHT & ZIEGLER 2017) werden aus den Eingangsdaten die wichtigsten Variablen für die Klassifikation selektiert, was die Berechnungszeit und die Gefahr einer Überanpassung der Modelle verringert (Abbildung 5 (d)). Außerdem wird ein Hyperparametertuning durchgeführt mit dem die Algorithmen auf die ausgewählten Datensätze angepasst werden (Abbildung 5 (e)). Zum Trainieren und Validieren der Modelle dienen Felddaten, die bei jeder Befliegung parallel aufgenommen worden sind (Abbildung 7 (f)). Auf Grundlage aller Felddaten wird ein finales Modell aufgebaut, welches auf die gesamte Segmentation angewandt wird und zur finalen Klassifikation führt. Die Klassifikationsgüte wird u.a. anhand Cohens Kappa gemessen. Als Klassifikationsmethode werden die beiden Algorithmen Support Vector Machine (SVM) und Random Forest (RF) gewählt, da sie etablierte Verfahren sind und in zahlreichen Studien zu guten Ergebnissen geführt haben (MOUNTRAKIS *et al.* 2011, BELGIU & DRÄGUT 2016).

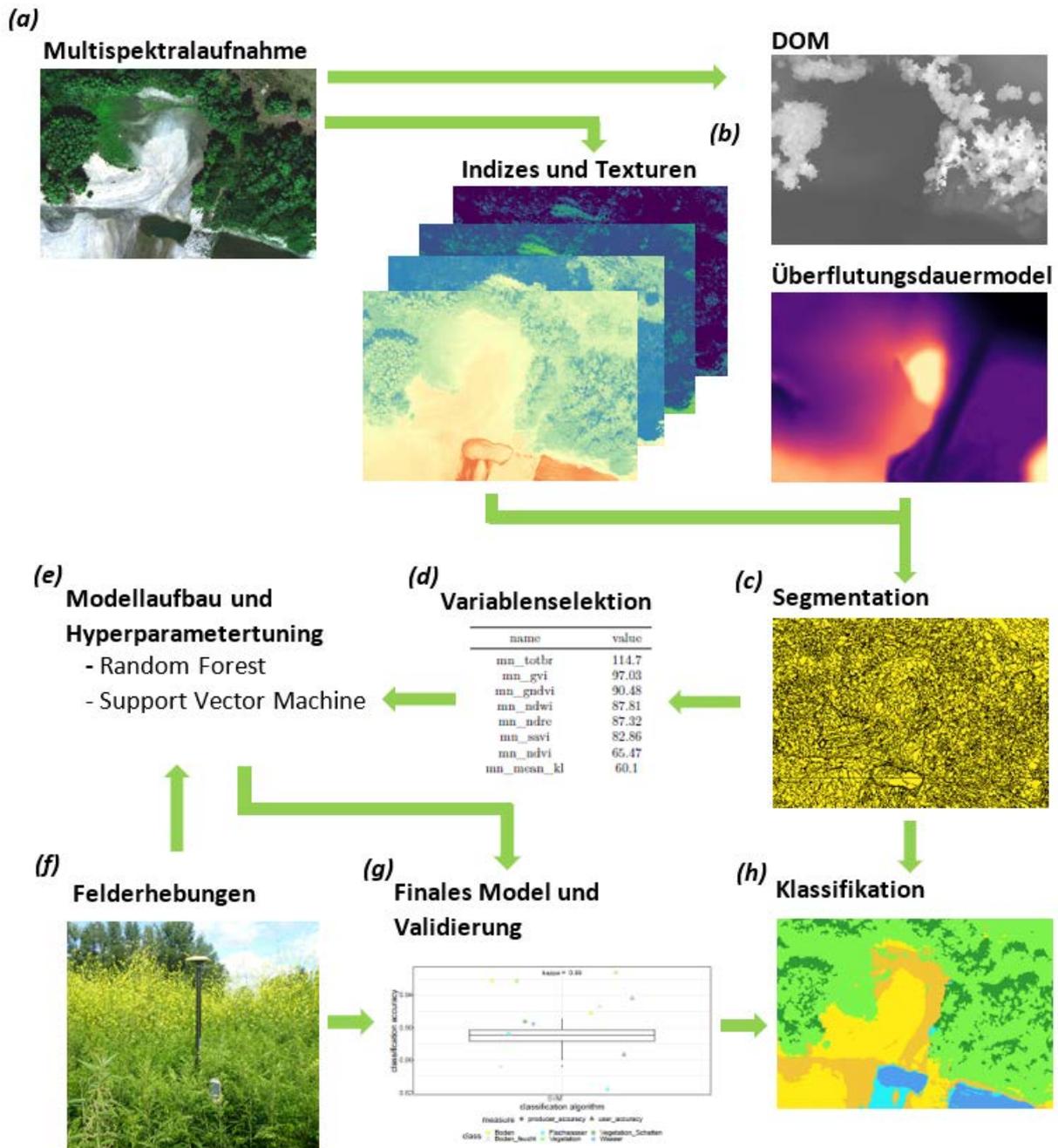


Abbildung 5: Arbeitsablauf zur Klassifikation multispektraler Luftbilder (die Beschreibung der Arbeitsschritte ist im Text zu entnehmen)

Im Nachfolgenden werden die Ergebnisse der drei Klassifikationsebenen Basisklassifikation (zur Unterteilung Vegetation und Nicht-Vegetation), Klassifikation von Vegetationseinheiten, Klassifikation von bestandsbildenden Pflanzenarten (Dominanzbestände) mit unterschiedlichen Zieleinheiten beschrieben.

3.2 Klassifikation von Basisklassen und Vegetationseinheiten

Im ersten Klassifikationsverfahren werden Vegetationsbereiche von anderen Oberflächenstrukturen mit dem Algorithmus SVM abgegrenzt. Das Ergebnis dient für weiterführende Auswertungen als Maske. Beispielweise können im Naturschutzgebiet

Emmericher Ward (Rhein km 854,5-856,8) grundlegende Oberflächenstrukturen wie Vegetation, Wasser, Boden mit einer Klassifikationsgüte von $\text{Kappa} = 0.86$ detektiert werden. Die Klasse Vegetation wird mit einer hohen Sicherheit erfasst. Als Trainings- und Validierungsdaten dienen über 1800 Punkte verteilt über alle Klassen im gesamten Gebiet. Die Fläche ist durch einen Übergang von dichter Vegetation hin zu spärlicher Bedeckung mit Uferpionieren gekennzeichnet. Vegetation und Uferpionieren von wenigen cm Ausdehnung (Abbildung 6 (a)) werden mit dem Modell richtig als Vegetation klassifiziert. Limitierungen ergeben sich bei spärlich bewachsenen Flächen von Uferpionieren (Wuchshöhen von ca. kleiner 3 cm) die vom Algorithmus nicht als solche abgebildet werden (Abbildung 6 (b)).

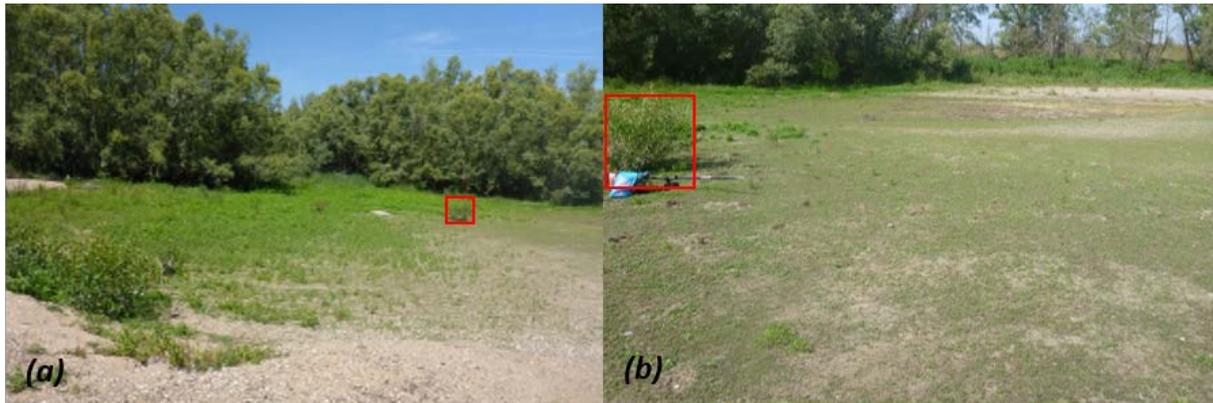


Abbildung 6: Emmericher Ward 24.07.2019, (a) Übergang von größeren Uferpionieren zu kleineren, (b) Fläche mit spärlichen Uferpionieren die eine Größe kleiner 3 cm; rotes Viereck: Fixpunkt, gleicher Busch in (a) und (b)

Die Vegetationsbereiche der Basisklassifikation werden weiter unterteilt in grundlegende Vegetationseinheiten der Uferzonierung. Unter Verwendung des RF-Algorithmus gelingt das mit einem Wert von $\text{Kappa} = 0.80$. Als Trainings- und Validierungsdaten dienen ca. 230 Punkte ebenfalls verteilt über alle Klassen im gesamten Gebiet. Beispielsweise werden Uferpioniere auch als solche sicher erfasst. Einschränkungen gibt es vor allem in beschatteten Gebieten über alle Einheiten hinweg. Zudem werden z. T. Röhrichte nicht flächendeckend klassifiziert.

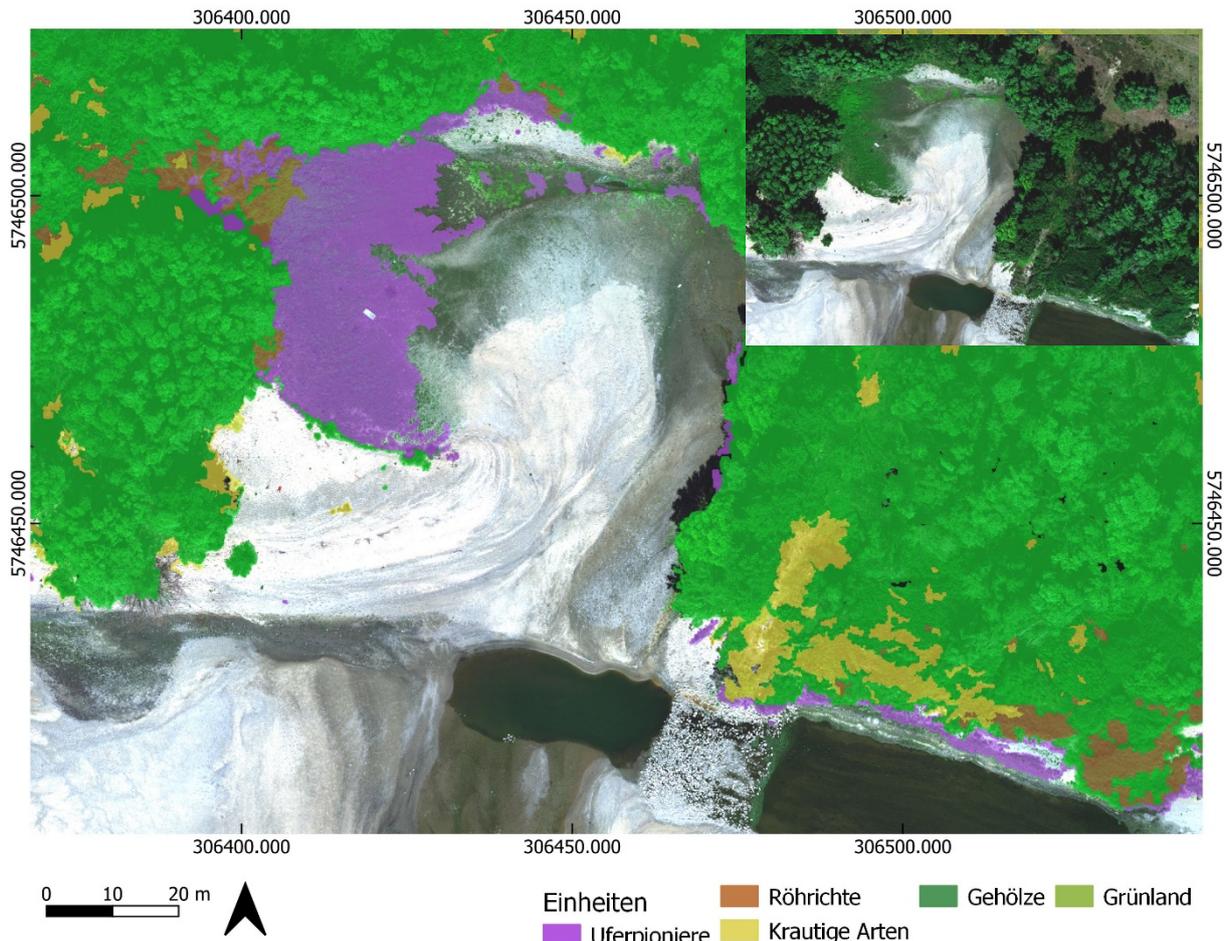


Abbildung 7: Klassifikation von Vegetationseinheiten der Uferzonierung mit dem Random-Forest-Algorithmus mit Luftbild (Quelle: GEOOPTIX GmbH) verkleinert und im Hintergrund der transparenten Klassifikation, Naturschutzgebiet Emmericher Ward mit Auslauf einer Flutrinne in den Rhein, 23.07.2019. Es ist ein Teilgebiet der Klassifikation dargestellt.

3.3 Klassifikation von bestandsbildenden Pflanzenarten

Auf Grundlage der Basisklassifikation aus Abschnitt 3.2 erfolgt mit dem RF-Algorithmus eine weitere Unterteilung der Vegetation in Dominanzbestände. Die Güte der Klassifikation variiert zwischen den jeweiligen Dominanzbeständen.

Hierbei spielen nicht nur die spektrale Unterscheidbarkeit der Bestände eine Rolle, sondern auch ob genügend Trainings- und Validierungsdaten vorliegen. Vor allem in kleinen Untersuchungsgebieten und Beständen mit geringer flächenhafter Ausdehnung ist eine ausreichende Trainingsgröße meist nur schwer zu erheben, was sich negativ auf die Klassifikationsgüte auswirkt. Größere homogene Bestände können mit den vorliegenden Modellen zufriedenstellend detektiert werden. Beispielweise können Arten wie *Urtica dioica* (Große Brennnessel) oder *Carduus crispus* (Krause Ringdistel) wegen ihres dominanten Wuchses und guter spektraler Unterscheidbarkeit gut klassifiziert werden. Für manche Einheiten wie *Arctium lappa* (Große Klette) ergeben sich eine sehr hohe Klassifikationsgenauigkeit, welche jedoch aufgrund der geringen Trainings- und Validierungsdaten (hier: 7 Punkte) nicht belastbar sind. In solchen Fällen ist eine visuelle Interpretation der Ergebnisse unerlässlich. Abbildung 8 zeigt einen Ausschnitt der Klassifikation von Dominanzbeständen im Naturschutzgebiet Emmericher Ward (für die gesamte Klassifikation: Kappa = 0.75, 129 Trainings- und Validierungsdaten über die Einheiten verteilt).

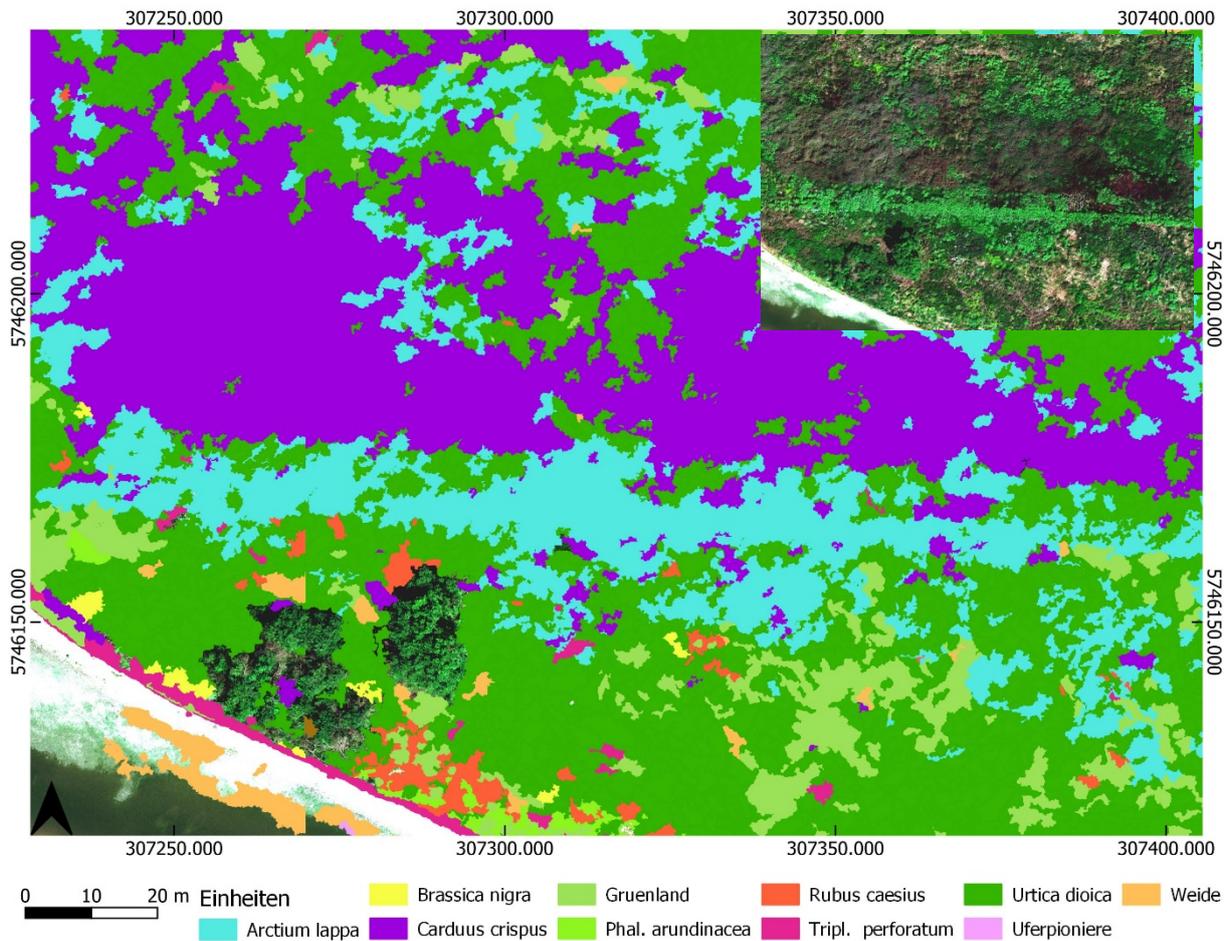


Abbildung 8 Klassifikation von Dominanzbeständen mit dem Random-Forest-Algorithmus ausgehend von verkleinert dargestelltem Luftbild (Quelle: GEOOPTIX GmbH), Naturschutzgebiet Emmericher Ward, 23.07.2019. In groß ist die Klassifikation desselben Teilgebiets dargestellt. *Arctium lappa* ist beispielsweise als hellgrüner Streifen im Luftbild ersichtlich (türkis in Klassifikation).

6 Fazit

Automatisierte Klassifikationsverfahren mit Methoden des maschinellen Lernens können Arbeitsabläufe zur Abgrenzung von bewachsenen und nicht bewachsenen Bereichen aus Luftbildern bis hin zur Detektierung von Vegetationseinheiten zu effektivieren. Sie ermöglichen es erst, große Datenmengen auszuwerten. Zudem lassen sich zusätzliche Informationen in Form von verschiedenen Indizes und abiotischen Parametern in die Klassifikation von Luftbilddaten in einem multidimensionalen Raum mit einbeziehen, was bei einer manuellen Klassifikation nicht oder nur sehr begrenzt möglich ist. Ein weiterer Vorteil vom maschinellen Lernen liegt in der Reduzierung der von den Bearbeitenden abhängigen Fehlern und subjektiven Einschätzungen, was sich wiederum positiv auf die Übertragbarkeit und Reproduzierbarkeit auswirkt. So ist beispielsweise die genaue visuellen Abgrenzung der Vegetation von nicht Vegetationsbereichen je nach Gebiet und vorhandenen Übergängen nur mit Unsicherheiten möglich. Dies führt dazu, dass verschiedene Bearbeitende unterschiedliche Grenzen setzen würden. Zwar bestehen diese Unsicherheiten auch bei maschinellen Verfahren, diese Fehler sind jedoch standardisiert.

Die automatisierte Vegetationsauswertung von Luftbildern bringt aber auch Limitierungen mit sich. Mit der Klassifikation von Luftbildern sollen wichtige Informationen über die Verbreitung

und Zusammensetzung der Vegetation aufgezeigt werden, was für ein ökologisches und naturschutzgerechtes Management der Gebiete essentiell ist. Maschinelle Verfahren beruhen auf mathematischen Methoden, die jedoch oftmals mit den naturschutzfachlichen Anforderungen nicht deckungsgleich sind. So ist es nur begrenzt möglich, das im Naturschutzrecht verankerte Konzept der Biotoptypen, die neben der Vegetationsbedeckung auch die Nutzung und Umweltbedingungen einschließen, zufriedenstellend zu detektieren. Nach wie vor werden hier neben den spektralen Informationen weitere Zusatzdaten wie Oberflächenmodelle und Expertenkenntnisse benötigt.

Für eine gute maschinelle Klassifikation müssen eine ausreichende Anzahl an Trainings- und Validierungsdaten – mit entsprechendem Erhebungsaufwand – vorliegen. Zudem ist zu beachten, dass je nach gewähltem Algorithmus – das betrifft vor allem komplexe Methoden wie Neuronale Netze – und Größe des Untersuchungsgebietes ausreichend Rechenkapazität notwendig ist. Mit zunehmender Komplexität der Modelle steigt die Gefahr der „Black Box“ d. h. es ist nicht möglich das modellierte Ergebnis nachzuvollziehen oder praxistauglich operationalisierbar zumachen.

Trotz Limitierungen bieten maschinelle Verfahren in Zeiten von immer größer werdenden Datenmengen und zu bearbeitenden Untersuchungsgebieten optimale Werkzeuge, diese überhaupt erst bearbeiten zu können. Die in dieser Studie durchgeführten maschinellen Verfahren führen zu guten Ergebnissen bei der Abgrenzung von Vegetation zu Nicht-Vegetation sowie für die Klassifikation von übergeordneten Vegetationseinheiten. Auch können solche Modelle die visuelle Abgrenzung von Bereichen mit und ohne Vegetation unterstützen und diese in Zukunft ersetzen. Einschränkungen ergeben sich auf Flächen mit niedriger und spärlicher Vegetation. Auf Ebene der bestandsbildenden Pflanzenarten sind die Ergebnisse von den zu klassifizierenden Arten abhängig. Während große und homogene Bestände gut erfasst werden, ergeben sich Schwierigkeiten bei der automatischen Klassifikation von kleinen Beständen. Maschinelle Verfahren sollen, nicht wie oftmals irrtümlich angenommen, den Experten ersetzen, sondern diesen unterstützen und die Feldarbeit erleichtern. Aufgrund des sich rasant entwickelnden Gebietes des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz in Verbindung mit einer immer besser werdender Aufnahme-Sensorik gilt es, solche Verfahren weiter zu erforschen und in die Arbeitsabläufe des Managements der Bundeswasserstraßen zu integrieren.

7 Danksagung

Ein großes Dankeschön widmen wir dem mDRONES-Team, welches sich neben den Referaten der Autoren („Vegetation und Landschaftspflege“ (U3), „Geodäsie und Fernerkundung“ (M5)) zusammensetzt aus GEOOPTIX GmbH (Trier), JB Hyperspectral Devices (Düsseldorf), der Hochschule Koblenz (RheinAhrCampus, Anwendungszentrum AML, Remagen) und dem BfG-Referat „Gewässermorphologie, Sedimentdynamik und -management“ (M3). Wir danken ebenfalls Görres Grenzdörffer und Matthias Naumann von der Uni Rostock für die Datenerfassung, Aufbereitung und Bereitstellung der qualitativ hochwertigen Luftbilder aus Kapitel 2. Ebenso möchten wir uns bei dem Auftraggeber WSA Elbe-Nordsee und im Falle von mDRONES4rivers der Forschungsinitiative mFUND (Modernitätsfonds) des BMVI bedanken, die die hier dargestellten Untersuchungen ermöglicht haben.

8 Literatur

- BELGIU, M. & DRÄGUȚ, L. (2016): Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. 114, 24-31.
- BLASCHKE, T.; CORNELIA, G. & LANG, S. (2002): Blaschke, T., Gläßer, C. & S. Lang (2002): Bildverarbeitung in einer integrierten GIS/Fernerkundungsumgebung – Trends und Konsequenzen. In: T. BLASCHKE (ed.): Fernerkundung und GIS, Neue Sensoren – Innovative Methoden, Wichmann Verlag, Heidelberg, 1-8.

- BUTZECK, C.; SCHRÖDER, U.; OLDELAND, J.; NOLTE, S. & JENSEN, K. (2016): Vegetation succession of low estuarine marshes is affected by distance to navigation channel and changes in water level. *Journal of Coastal Conservation*, 20, 221-236, <http://dx.doi.org/10.1007/s11852-016-0432-1>.
- FKZ (19F2054): mFUND-Projekt mDRONES4rivers, Steckbrief: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/mdrone4rivers.html>
- GÄHLER, M.; JANOWSKY, R. & SCHRÖDER, U. (2002): Automatisierte Biotoptypenklassifikation auf Basis höchstauflösender Flugzeugscannerdaten. In: T. BLASCHKE (ed.): *Fernerkundung und GIS, Neue Sensoren - innovative Methoden*, Wichmann, Salzburg, 233- 240.
- GRENZDÖRFFER, G. & NAUMANN, M. (2020): Bericht UAS-Bildflüge Makrophytenmonitoring 2020. Abschlussbericht Befliegung 2020. https://www.kuestendaten.de/media/zdm/kuestendaten/publikationen/Datencontainer/C/BerichtBefliegung2020_final.pdf, pp. 13.
- MOUNTRAKIS, G.; IM, J. & OGOLE, C. (2011): Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, 247-259, <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2010.11.001>.
- NEUBERT, M. (2006): Bewertung, Verarbeitung und segmentbasierte Auswertung sehr hoch auflösender Satellitenbilddaten vor dem Hintergrund landschaftsplanerischer und landschaftsökologischer Anwendungen. Band 1 der Reihe "Fernerkundung und angewandte Geoinformatik". Csaplovics, Elmar, Lehrstuhl Remote Sensing, FR Geowissenschaften, TU Dresden.
- NGUYEN, U.; GLENN, E.P.; DANG, T.D. & PHAM, L.T.J.E.I. (2019): Mapping vegetation types in semi-arid riparian regions using random forest and object-based image approach: A case study of the Colorado River Ecosystem, Grand Canyon, Arizona. 50, 43-50.
- PANDE-CHHETRI, R.; ABD-ELRAHMAN, A.; LIU, T.; MORTON, J. & WILHELM, V.L. (2017): Object-based classification of wetland vegetation using very high-resolution unmanned air system imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 50, 564-576, <http://dx.doi.org/10.1080/22797254.2017.1373602>.
- PETERS, K.; STAHLMANN, A. & KARCH, M. (2016): Wellen- und Strömungsmessungen im Rahmen von Makrophytenuntersuchungen. Zusammenfassung der Ergebnisse. Hamburg, pp. 71.
- PETERSEN, J.; DASSAU, O.; DAUCK, H.-P. & JANINHOFF, N. (2008): Angewandte Vegetationskartierung großräumiger Projektgebiete auf Basis digitaler Luftbilddaten - eine kombinierte Methode aus Fernerkundung, GIS und nahezu flächendeckender Verifizierung im Gelände. In: STROBL; BLASCHKE et al. (eds.): *Angewandte Geoinformatik 2008 - Beiträge zum 20. AGIT-Symposium* Wichmann Verlag, Heidelberg, 584-594.
- R CORE TEAM (2020): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.
- SCHRÖDER, U. (2004): Analyse der aktuellen räumlichen Veränderungen ufernaher Röhrichte und Uferstauden unter besonderer Berücksichtigung ihrer historischen Entwicklung (der letzten 30 bis 50 Jahre) - Untersuchungen im Rahmen der Beweissicherung zur Anpassung der Fahrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschiffahrt (14,5 m Ausbau). Koblenz, pp. 100.
- SCHRÖDER, U.; FUCHS, E.; HEUNER, M.; SCHMIDT-WYGASCH, C. & TERWEI, A. (2018): Einfluss des schifferzeugten Wellenschlages auf emerse Makrophyten der Tideelbe am Beispiel dreier exponierter Standorte – Ist-Zustand 2015 - Untersuchungen im Rahmen des Planfeststellungsbeschlusses zur Fahrrinnenanpassung. Koblenz, pp. 60, <http://dx.doi.org/10.5675/BfG-1945>.
- VAN IERSEL, W.; STRAATSMA, M.; MIDDELKOOP, H. & ADDINK, E. (2018): Multitemporal Classification of River Floodplain Vegetation Using Time Series of UAV Images. *Remote Sensing*, 10, <http://dx.doi.org/10.3390/rs10071144>.
- WEBER, A. & ROSENZWEIG, S. (in Vorbereitung): hydfflood - algorithms to compute flood extent and duration along German Federal waterways Elbe and Rhine. Unpublished Report, BfG.

WRIGHT, M.N. & ZIEGLER, A. (2017): Ranger: A fast implementation of random forests for high dimensional data in C++ and R. Journal of Statistical Software, 77, 17, <http://dx.doi.org/10.18637/jss.v077.i01>.

WSA (2011): Abschlussbericht zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt. https://www.kuestendaten.de/media/zdm/portaltideelbe/Projekte/FRA1999/Beweissicherung/bericht2011/anlagen/Bericht_Abschluss_endfassung_20120215_NEU_b.pdf, pp. 132.

Block C - Erfassung von Flora/Vegetation

C.2 Wurzeldetektion von Alleebäumen mit Radar

Karsten Kriedemann, ö. b. v. Sachverständiger



1. Aufgabenstellung

Kenntnisse zum Wurzelwerk von Bäumen sind entscheidend für deren Schutz und Pflege. Gleiches gilt bei Bauvorhaben, denn häufig wird der Fokus auf den Stamm- und Kronenschutz gelegt und dabei der Wurzelraum vernachlässigt.

Das „unsichtbare“ Wurzelwerk und der Lebensraum Baum werden bei Bauvorhaben oft unzureichend beachtet. Bei Eingriffen in das Baumumfeld sind Kenntnisse zur Lage des Wurzelwerks betroffener Bäume elementar wichtig.

Die Vitalität und Verkehrssicherheit von Bäumen hängt bestimmend vom „Standortfaktor“ Boden ab. Der natürliche Standort unserer gebietsheimischen Straßenbäume liegt im Wald, häufig auf tiefgründigen, humosen Böden mit etablierter Bodenmykorrhiza.



Hinsichtlich der Zustandsbewertung von Bäumen ist zwischen deren „Vitalität“ und „Verkehrssicherheit“ zu unterscheiden. Die Vitalität kennzeichnet die Gesundheit und Wuchskraft; wofür ein ausreichend großes Bodenvolumen notwendig ist. Dagegen definiert die Verkehrssicherheit die sogenannte Stand- und Bruchsicherheit; dafür ist wiederum eine ausreichende Bodenverankerung auf einem entsprechend bemessenen und gesunden

Baumumfeld die Voraussetzung. In urbanen Räumen - insbesondere an Straßen - müssen Bäume mit gestörten, unnatürlichen Standorten zurechtkommen.



2. Wurzelschutzbereich

Es liegen allgemeingültige Definitionen und Regelwerke für Arbeiten im Wurzelbereich vor. Nach der DIN 18920 und RAS-LP 4 definiert der Wurzelbereich die Fläche unter der Krone (Kronentraufe) zuzüglich 1,5 m, bei säulenförmigen Bäumen zuzüglich 5 m.

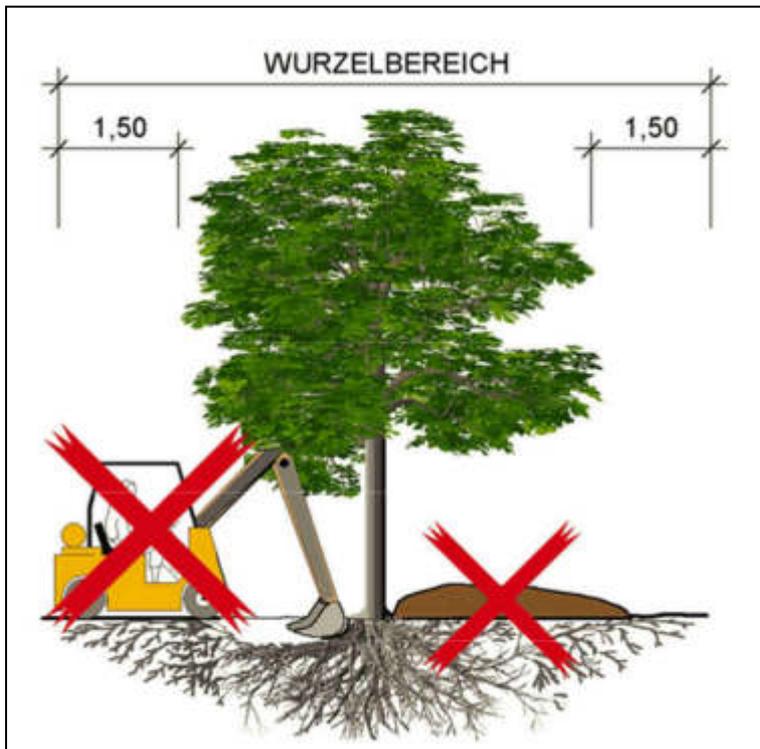


Abb.: Die Norm DIN 18920 und das Regelwerk RAS-LP 4
(Quelle: <http://www.galk.de>).

Dieser definierte Wurzelbereich kann jedoch nur einen Orientierungswert angeben, denn z. B. an Verkehrswegen muss sich das Wurzelwerk den veränderten Luft- und Wasserverhältnissen im Boden anpassen. Auch hat sich in der Praxis gezeigt, dass häufig eine artspezifische Wurzelausbreitung vorliegt und besonders in der Jungbaumphase das Kronenwachstum nicht mit der Wurzelausbreitung des Baumes Schritt hält.

Die Herausforderung besteht darin, Bauvorhaben im Baumumfeld so zu planen und zu realisieren, dass Schäden am Wurzelwerk bestenfalls vermieden, zumindest aber minimiert werden.

Deshalb ist bereits in der Planungsphase von Baumvorhaben und auch z. B. bei Maßnahmen zur Verbesserung des Baumumfeldes eine schonende Erkundung des Wurzelwerks anzustreben.

3. Methoden zur Erkundung des Wurzelwerks von Bäumen

3.1. Etablierte Methoden

Zur direkten Freilegung des Wurzelwerks von Bäumen wird klassischerweise die Handschachtung angewendet. Diese kann unterstützt oder auch ersetzt werden durch Einsatz von Drucklufttechnik. Hierfür wird eine Druckluftlanze, die über einen Kompressor mit 7 - 8 bar Luftdruck verfügt, eingesetzt.

Mit dieser Methode kann das Wurzelwerk relativ schonend „freigepustet“ werden. Bei einem oberflächennah anstehenden Wurzelwerk kann die Erkundungstiefe jedoch sehr schnell begrenzt sein, da flach verlaufende Wurzeln eine tiefere Freilegung verhindern.





Eine weitere Methode besteht in dem Einsatz eines Saugbaggers. Hierfür stehen kleine Geräte mit dann jedoch geringerer Saugleistung zur Verfügung. Für größere Vorhaben ist ein leistungsstarker Saugbagger notwendig. Hierbei handelt es sich um einen großen LKW (ca. 20 t), der mit einem Saugrüssel (ca. 20 cm Durchmesser) den Boden aufnimmt.



Bei größerer Verdichtung muss das Erdreich zuvor mit einer Sprenglanze gelöst werden. Auch dieses Verfahren ist weitestgehend wurzelschonend. Die Freilegungstiefe kann jedoch auch durch flach verlaufende Wurzeln begrenzt werden. Außerdem wurde in der Praxis festgestellt, dass durch den Dauerbetrieb des LKW unter den Baumkronen und den damit verbundenen Abgasen Verbrennungsschäden an den Blättern eintreten können.



3.2. Innovative Methoden

Inzwischen liegen auch Methoden vor, die eine Ortung des Wurzelwerks ohne Bodenöffnung ermöglichen. Diese können auch als zerstörungsfreie Methoden bezeichnet werden.

Folgende zwei Methoden werden zzt. im Feldversuch erprobt und werden hier kurz vorgestellt. Neben diesen Methoden bestehen noch weitere, auf die hier jedoch nicht eingegangen wird.

Schall-Impuls-Tomografie

Zum Einsatz kam der Arbotom® Baumtomograf der Firma Rinntech® mit dem Zusatzmodul Arboradix für die Wurzelortung.

Vor der eigentlichen Wurzelortung ist an dem zu untersuchenden Baum eine Schalltomografie auf Stammfußhöhe durchzuführen. Um den Stamm herum werden Impulssensoren an Nägeln montiert, die bis ins Splintholz des Holzkörpers einzuschlagen sind. Die Sensoren sind über eine Messkette miteinander verbunden. Via Bluetooth-Technik werden die Messdaten auf einen Laptop mit Spezial-Software übertragen und ausgewertet. Das Messprinzip beruht darauf, dass die Sensoren die Laufzeit von mechanischen Schall-/ Stoßimpulsen (= Körperschallwellen) durch das Holz in Mikrosekunden messen. Der Schall wird entsprechend der Holzstruktur unterschiedlich schnell im Baumstamm zwischen den Sensoren weitergegeben. Aus diesen Messwerten werden Schallgeschwindigkeiten errechnet, die in einer farbigen Liniengrafik dargestellt werden. Um Hindernisse, wie Fäulen und Risse macht der Schall Umwege und wirkt dadurch langsamer.

Die Sensoren werden auf einer ungefähr waagerechten Ebene an den Wurzelanläufen am Stammfuß positioniert. An jeder Sensorposition wird ein Nagel bis zum Splintholz eingeschlagen und an den Nägeln werden die Sensoren aufgehängt. Über mehrere Hammerschläge auf jeden Sensor reihum werden Schallimpulse eingegeben, die sich als Breitbandsignal ungerichtet innerhalb des Stamms ausbreiten.

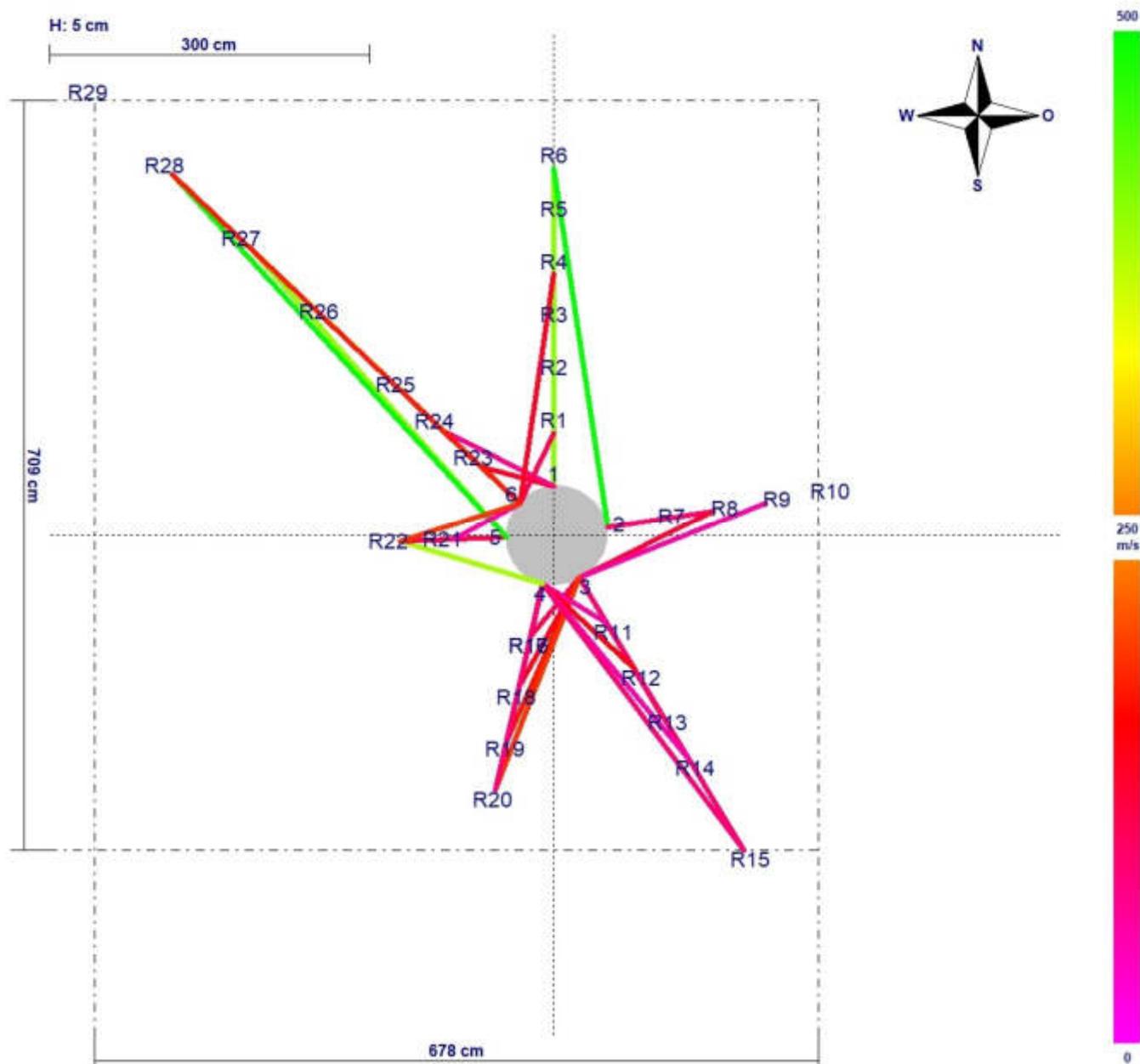
Eine Interpretation der Linien- und Flächentomogramme ist stets nur in Bezug auf die jeweilige Farbskala möglich. In Abhängigkeit von der Baumart berechnet ein Computerprogramm aus den Laufzeiten beim Schlagen auf die Sensoren über ein mathematisches Modell ein farbiges Flächenbild des untersuchten Stammquerschnitts und bildet ein Tomogramm ab.

Mit der technischen Erweiterung des Schalltomografen durch das ArboRadix® können Baumwurzeln geortet werden. Zur Wurzelanalyse wird die am Stammfuß angebrachte Sensormesskette um einen zusätzlichen Sensor auf einer Stahlstange erweitert. Über die Stahlstange wurden auf Ortungsstrecken Impulse in den Boden eingeleitet. Über die Wurzeln - soweit unter der Schlagstelle vorhanden - werden die Impulse an den Baum weitergeleitet und die Laufzeit des Schalls zum Baum gemessen. Im Abstand von 0,5 m oder 1,0 m wurden entlang der Suchlinien Ortungen durchgeführt, die Positionen werden aufgezeichnet und als Liniendiagramm dargestellt (siehe nachfolgende Abbildung). Die Diagramme liefern Informationen zur Lage der Wurzeln und deren Verbindung zu einzelnen Wurzelanläufen (Sensoren am Baum).



Alleebaum mit montierter Sensorkette an den Wurzelanläufen. Hier wurde untersucht, wie weit sich das Wurzelwerk an der straßenabgewandten Seite ausgebreitet hat.





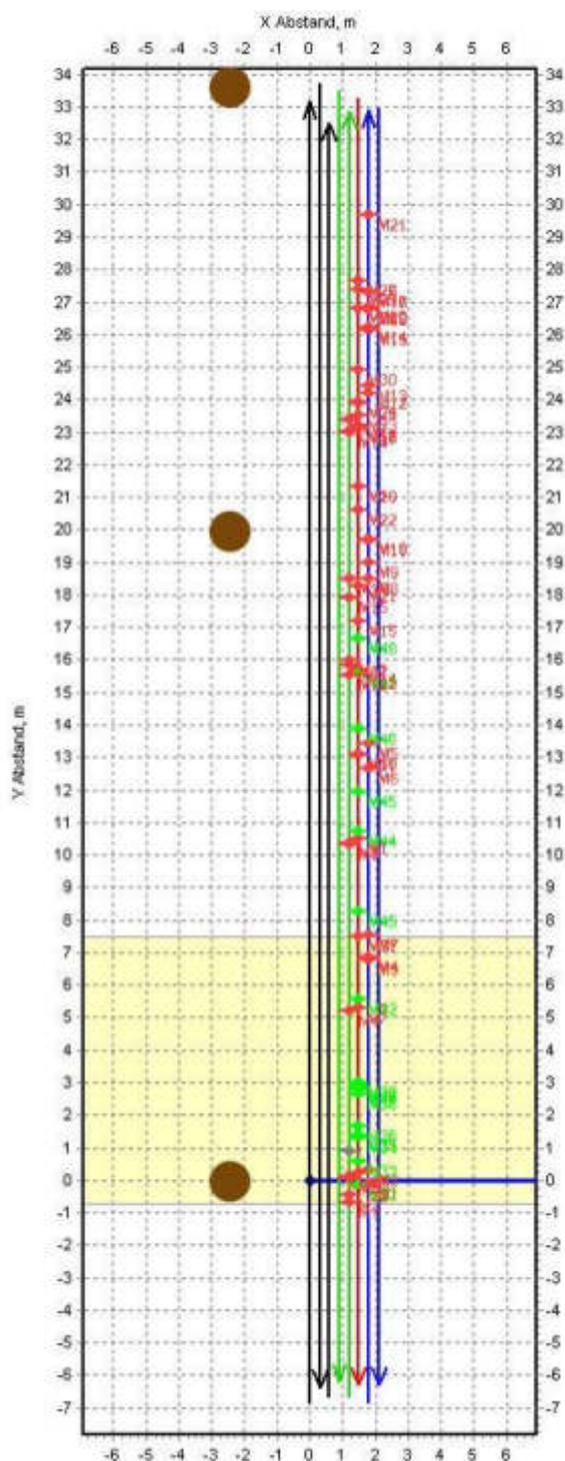
In dem oben gezeigten Diagramm ist als graue Fläche der Querschnitt des Baumstamms auf Höhe der Sensorkette dargestellt. Die farbigen Linien zeigen mit unterschiedlicher Impulsstärke (Schallgeschwindigkeit) geortete Wurzeln.

Mit dieser Methode kann die ungefähre Lage von stärkeren Wurzeln geortet werden. Jedoch ist eine genauere Aussage zu deren Verlauf, zur Stärke und Tiefe unter der Geländeoberkante nicht möglich.

(Geo-)Radartechnologie

An einem Radarhandwagen sind eine Sender- und eine Empfängerantenne montiert. Der Wagen wird auf markierten Streifen über das Baumumfeld gefahren (siehe folgendes Foto). Mit dem Radar werden hochfrequente elektromagnetische Wellen über die Antenne in den

Boden eingestrahlt, die an den Grenzflächen von Objekten im Boden unterschiedlich reflektiert werden. Trifft eine Welle auf ein Objekt (z.B. eine Baumwurzel), so wird die Impulswelle von dem Objekt reflektiert und von der Empfänger-Antenne aufgezeichnet.

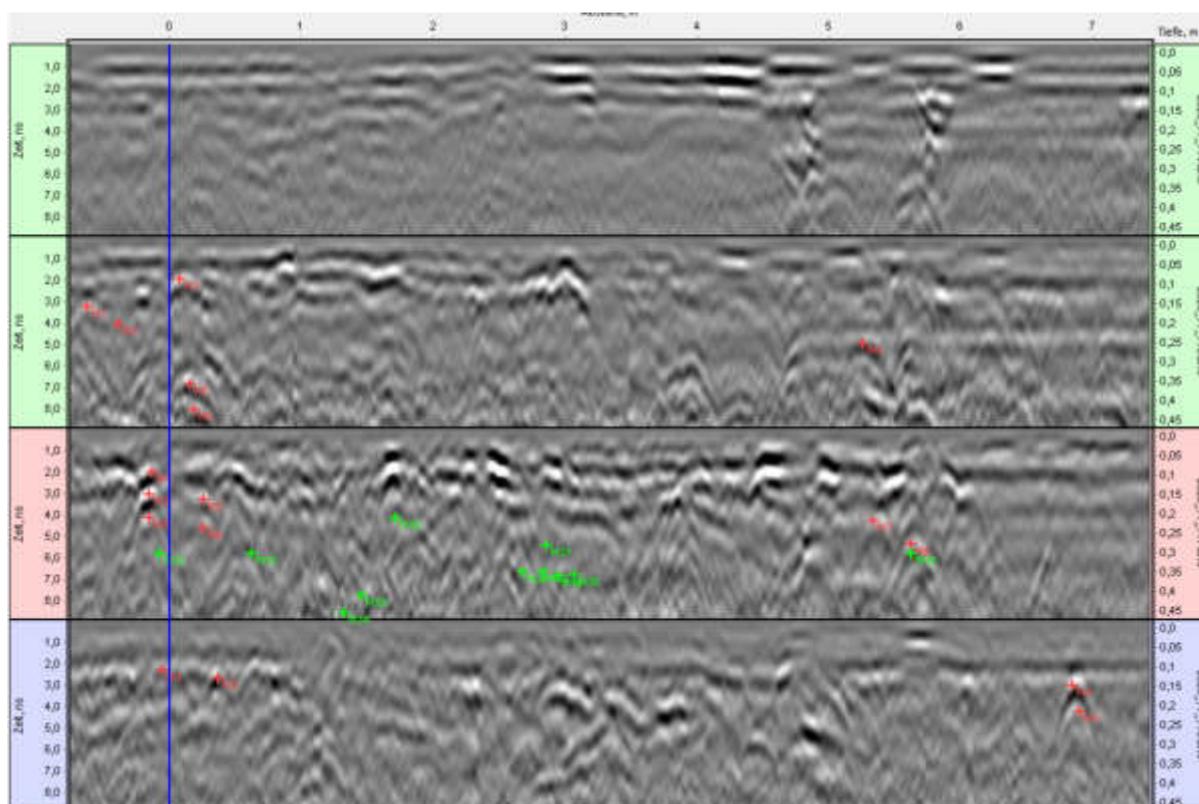


Radarauswertung - dargestellt sind die Messfahrten an drei Alleebäumen mit Kennzeichnung der georteten Wurzeln in verschiedenen Tiefenbereichen (grün und rot dargestellt).

Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, sind mindestens drei, besser fünf oder mehr Parallelfahrten mit dem Georadar nötig. Der Abstand zwischen den parallelen Fahrten sollte weniger als 30 cm betragen, im Optimalfall 10 cm bis 15 cm, um aus den Signalen auf die tatsächliche Wurzellänge schließen zu können. Bei zu weitmaschigen Fahrten kommt es andernfalls zu Fehlinterpretationen. Um möglichst genaue Abstände zwischen den Fahrten

zu erzielen, können manuelle Markierungen auf dem Untergrund genutzt werden, mittels Messlatte und umweltfreundlichem Kreidespray.

Objekte im Untergrund werden als sogenannte Hyperbeln angezeigt, da Wellen annähernd kegelförmig in den Boden abgestrahlt werden. Das so reflektierte Signal wird auf einem mitgeführten Laptop in sogenannten Radargrammen abgebildet, in dem die zu einem Messprofil gehörigen durchgeführten Einfahrten mit einer speziellen Software aneinandergereiht werden.



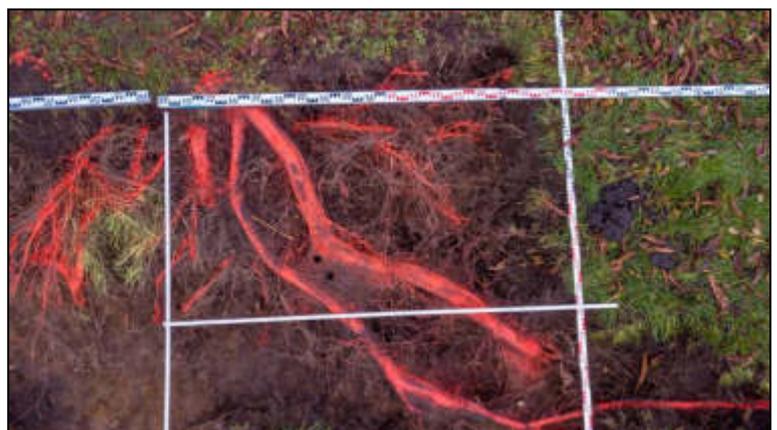
Radargramm mit Kennzeichnung der Hyperbeln, die auf Wurzeln deuten (grün und rot markiert).

Die Detektionsreichweite der Radarwellen ist von mehreren Faktoren abhängig, u. a. von der Größe und Form des Objekts (der Wurzeln), der Beschaffenheit des Bodens und der Frequenz der Antenne. So bietet ein Radar mit höherer Frequenz eine bessere Auflösung (mit gleichzeitiger Reduzierung der Wellenlänge/Eindringtiefe), wohingegen eine Antenne mit geringerer Frequenz eine tiefergehende Messung ermöglicht, jedoch mit geringerer Auflösung. Aus unseren Feldversuchen hat sich ergeben, dass sich für eine hochauflösende Ortung von Wurzeln im Tiefenbereich bis ca. 1,50 m eine 900-MHz-Antenne am Georadar bewährt hat.



Durch mehrere streifenförmige Parallel- und gegebenenfalls Quermessungen (alternativ auch Fahrten im Halbkreis, siehe Foto) entsteht so an Baumstandorten ein Abbild zur Position und Tiefe des Wurzelwerks.

Aus den im Radargramm aufgezeichneten Signalen ist kein Rückschluss auf die konkrete Stärke der Wurzeln möglich. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf. In unseren Feldversuchen wurden mit dem Georadar Wurzeln ab ca. 8 mm Stärke detektiert.



Erfahrungsberichten nach sind die besten Messergebnisse auf trockenen Sandböden zu erzielen. Bei tonigen und schuttbelasteten Böden kommt die Messmethode an ihre Grenzen.

Auch hohe Wassergehalte im Boden sind störend, feuchte/salzhaltige Böden vermindern - aufgrund ihrer hohen elektrischen Leitfähigkeit - die Reichweite des Radars.

Gleiches gilt für vertikal verlaufende Wurzeln, die nach Untersuchungen mittels Georadar nicht zu erfassen sind. Verlaufen beispielsweise unter Verkehrswegen Leitungen, in die Wurzeln eingewachsen sind, können diese nicht sicher geortet werden.

Fazit:

Das Georadar stellt keine geeignete Methode dar, um auf langen Strecken effektiv und präzise das Wurzelwerk zu orten. Der Untersuchungs- und Auswertungsaufwand ist unangemessen hoch.

Die Technologie ist vielmehr gut geeignet, um Standorte von wertvollen Einzelbäumen oder kurze Alleenabschnitte bezüglich der flächigen Ausbreitung des Wurzelwerks zu erkunden. Dies kann bei Radwegneubauten oder Straßenausbauten exemplarisch an repräsentativen Bäumen zum Tragen kommen.

Alle Fotos stammen vom Autor.

Das Flora Incognita Projekt

Alice Deggelmann, Max Planck Institute for Biogeochemistry, Jena

Maschinelles Lernen, Citizen Science, Smartphones – all diese hochaktuellen Forschungsthemen vereint das Forschungsprojekt “Flora Incognita” seit sechs Jahren. Unter dem Motto “Künstliche Intelligenz trifft auf Natur” arbeitet ein interdisziplinäres Team aus den Fachbereichen Botanik, Informatik, Physik und Medienwissenschaften an einer Lösung, traditionelle Pflanzenbestimmung in das digitale Zeitalter zu überführen.

Globaler Biodiversitätsverlust und Bedeutung von Biodiversitätsmonitoring

Neben dem Klimawandel stellt der Verlust der biologischen Vielfalt eine der größten Bedrohungen für die Menschheit dar. Das Verschwinden von Arten hat starke Konsequenzen für die Funktionen und Stabilität unserer Ökosysteme. Pflanzen bilden die Grundlage der meisten terrestrischen Nahrungsnetze und es ist bekannt, dass Veränderungen in der Pflanzenzusammensetzung das gesamte Ökosystem mit dessen Funktionen beeinflussen. Sterben lokal Arten aus oder wandern neue Arten ein, wirkt sich das kaskadenartig auf die übrigen Arten im betroffenen Ökosystem aus. Um derartige Veränderungen rechtzeitig zu erkennen ist ein umfassendes Monitoring der pflanzlichen Biodiversität daher eine zentrale Forderung des Artenschutzes. Eine der vier Hauptforderungen des Intergovernmental Panel on Biodiversity and Ecosystem Services besteht darin, „regelmäßige und rechtzeitige Bewertungen des Wissens über die biologische Vielfalt durchzuführen“. Die Überwachung der Biodiversität ist von entscheidender Bedeutung für eine rechtzeitige Erkennung des Rückgangs bestimmter Arten, die Etablierung von Managementmaßnahmen und die Quantifizierung der Wirksamkeit von Managementpraktiken zur Erhaltung der biologischen Vielfalt. Ebenso wichtig ist in diesem Zusammenhang die Bereitstellung flächendeckender und verlässlicher Daten, welche den Status der biologischen Vielfalt widerspiegeln und auf deren Grundlage Handlungen abgeleitet werden können. Ohne Daten zum Zustand und zur Entwicklung der biologischen Vielfalt kann es keine Früherkennung neuer Probleme, keine Zielentwicklung und keinen Maßnahmenkatalog geben.

Artenkenntnis in der Bevölkerung nimmt dramatisch ab

Naturschutzverbände und Wissenschaftler*innen beklagen mangelnden Artenkenntnis in unserer Gesellschaft seit Jahren und das sogar bei ausgebildeten Biologen. Immer weniger Menschen können heute eine größere Zahl von Arten sicher erkennen und ihr Vorkommen in einen ökologischen Zusammenhang stellen - besonders heimische Wildkräuter sind für Laien schwer zu unterscheiden. Pflanzen bilden für das ungeübte Auge eine anonyme grüne Masse. Selbst eine „Blumenwiese“ wird von vielen Menschen nur als „Gras“ wahrgenommen. Schwindende Artenkenntnisse sind nicht nur allgemein in der Bevölkerung zu beobachten. Frobel & Schlumprecht (2014) halten in ihrem Gutachten „Erosion der Artenkenner“ fest, dass sich auch innerhalb des ehrenamtlichen Engagements für Natur- und Umweltschutz -- traditionell getragen von Menschen, die sich durch besondere Tier- und Pflanzenkenntnis auszeichnen („Artenkenner“) - eine tiefgreifende Änderung vollzieht. Eine strukturierte Befragung von 70 Sachverständigen, welche selbst im Bereich der Beschaffung von Grundlagen für den Naturschutz tätig sind, ergab einen deutlichen Rückgang der Artenkenner im jeweiligen persönlichen Umfeld praktisch aller Befragten um 21% in den letzten 20 Jahren. Diese Entwicklung ist für Naturschutz und Landnutzung prekär. Denn mit schwindenden Kenntnissen über Tiere, Pflanzen und ökologische Zusammenhänge nimmt auch die Bereitschaft in der Bevölkerung ab, sich für Naturschutz- und Umweltschutzbelange einzusetzen (Lindemann-Matthis 2005, 2002). Wie soll man für den Schutz der Artenvielfalt werben, wenn diese der Bevölkerung praktisch nicht bekannt ist? Gleichzeitig wird die fortlaufende Inventarisierung von Flora und Fauna, welche die Basis für Schutz-, Pflege- und

Entwicklungsmaßnahmen bildet, zunehmend erschwert, und dies in einer Zeit, in welcher der Bedarf an gut ausgebildeten Artenkennern steigt.

Zunahme digitale Medien im Alltag vieler Menschen

In der Bevölkerung und insbesondere bei Kindern und Jugendlichen steigt seit Jahren das Interesse für digitale Medien. Diese sind aus dem Leben der meisten Menschen nicht mehr wegzudenken. Seit der Einführung von Apple's iPhone im Jahr 2007 sind Smartphones für eine breite Masse von Anwendern ständiger Begleiter und unverzichtbares Hilfsmittel geworden. Sie besitzen ein intuitives Bedienkonzept und ihr Funktionsumfang lässt sich durch individuelle Programme (Apps) erweitern. Wurden im Jahr 2010 weltweit noch rund 300 Millionen Smartphones verkauft, waren es im Jahr 2018 mehr als 3 Milliarden Geräte. Diese technischen Entwicklungen beeinflussen bereits in vielen Lebensbereichen unsere Art zu Lernen und sich Wissen anzueignen.

Die Flora Incognita App revolutioniert die Pflanzenbestimmung

Im Rahmen des Projektes wurde ein Verfahren zur interaktiven, automatischen Pflanzenbestimmung mit Smartphones entwickelt. Die konsequente Nutzung neuester Ansätze des maschinellen Lernens in Kombination mit der ständigen Verfügbarkeit von mobilen Endgeräten wie Smartphones und Tablets machen es möglich, die Bestimmung von Pflanzen deutlich zu vereinfachen. Die im Rahmen des Projektes entwickelte Flora Incognita App zeigt eindrücklich, wie einfach heute Pflanzenbestimmung sein kann. Mit der Kamera des Smartphones fotografieren Sie die Blüte, dann gegebenenfalls das Blatt und in Sekundenschnelle erhalten Sie einen Vorschlag zum Namen der Pflanze sowie weiterführende Informationen in umfangreichen Pflanzensteckbriefen. Die App erlaubt somit eine leichte und sichere Pflanzenbestimmung für Menschen jeden Alters und jeden Grades an Vorwissen.

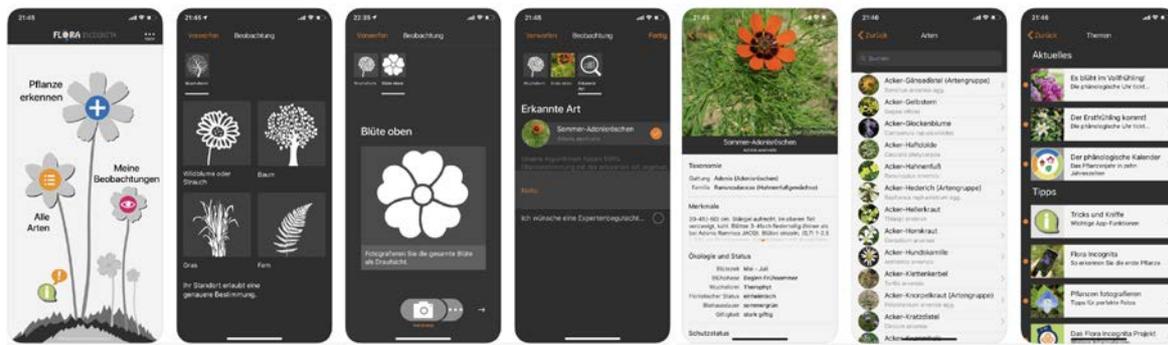


Abbildung 1: Screenshots der Flora Incognita App.

Multimodale Datenanalyse erhöht die Erkennungsgenauigkeit deutlich

Allein mit Hilfe des Bilderkennungsverfahrens erzielen wir für die in Mitteleuropa vorkommenden Pflanzenarten mit der Flora Incognita App eine Erkennungsgenauigkeit von etwa 83%. In mehr als 97% der Fälle befindet sich die korrekte Art unter den ersten fünf Treffern für ein Bild. Obwohl beeindruckend, war der Anspruch des Forscherteams bezüglich Erkennungsgenauigkeit ab Beginn des Projektes noch höher. Mittels vielfältiger Studien und Experimente konnte gezeigt werden, dass durch die situationsabhängige Aufforderung, ein weiteres Bild der unbekannteren Pflanze aufzunehmen, die Bestimmungsgenauigkeit deutlich gesteigert werden kann. Eine weitere Präzisierung wird durch eine konsequente Analyse des Bestimmungsortes erreicht. Die Auswertung von Verbreitungsdaten, Bodenkarten und Klimadaten kann für den Bestimmungsstandort eine Hypothese über wahrscheinlicher und

weniger wahrscheinlich vorkommende Arten ermöglichen. Binnen weniger Millisekunden werden all diese Informationen im Rahmen einen vollständig neuentwickelten Bestimmungsprozesses verschmolzen und erlauben eine Bestimmungsgenauigkeit, welche von Experten als unübertroffen bezeichnet wird.

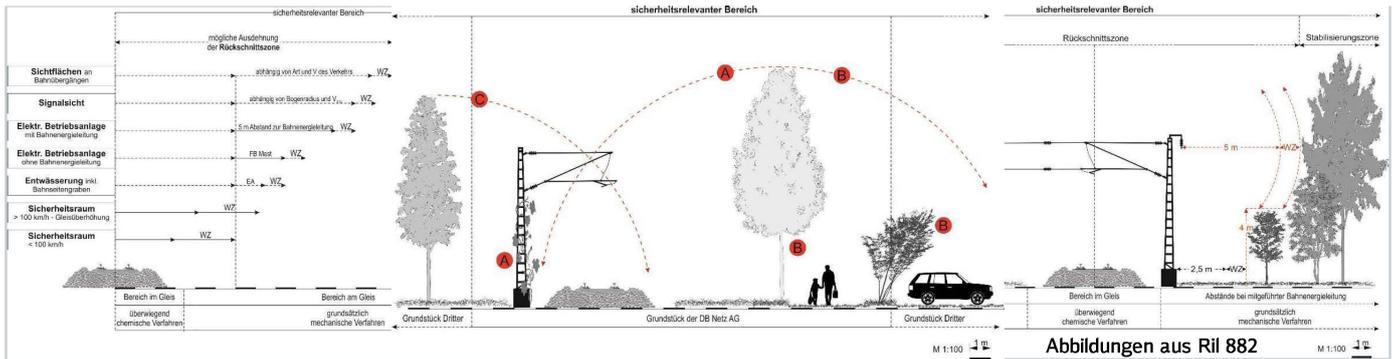
Die App zur Pflanzenbestimmung soll einerseits helfen, Laien die Vielfalt heimischer Arten vor Augen zu führen und an die Pflanzenbestimmung heranzuführen. Denn das Wahrnehmen ist der erste Schritt zur Identifikation mit dieser Vielfalt und somit zur Wertschätzung, sowie der Bereitschaft sich für deren Erhaltung einzusetzen. Andererseits richtet sich das Projekt ebenso an Fachleute und Praktiker und soll ihnen ein verlässliches Werkzeug in die Hand geben welches ihnen die Arbeit erleichtert.

Herausforderungen

Das Forscherteam von Flora Incognita war mit unterschiedlichen Herausforderungen konfrontiert: Von den mehr als 4.800 Arten können sich einzelne Individuen einer Art je nach Standort morphologisch stark unterscheiden (große Intra-Klassen Variabilität), aber ebenso üblich sind visuelle Ähnlichkeiten völlig verschiedener Arten (geringe Inter-Klassen Unterschiede). Weitere Herausforderung sind unterschiedlichste Bildaufnahmebedingungen in der Natur (z.B. Tageszeit, Jahreszeit, Artengemeinschaften), die Gewohnheiten unterschiedlicher Nutzer (z.B. Detail- vs. Überblicksaufnahme), oder die technischen Spezifika verschiedener Endgeräte (z.B. Kameraauflösung und Bildqualität).

Die Adressierung dieser Herausforderungen haben zu mehreren innovativen Ansätze sowohl in der Informatik als auch in der Botanik geführt, welcher in ihrer Kombination in der Flora Incognita App einzigartig sind wie etwa die systematische und artengruppenspezifische Definition und Evaluierung komplementärer Bildperspektiven (Rzanny et al., 2017; Rzanny et al., 2019)

Die Flora Incognita App wurde im Frühjahr 2018 veröffentlicht und ist sowohl im Google PlayStore als auch im Apple AppStore öffentlich verfügbar. Ihre Entwicklung wurde gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung, das Bundesamt für Naturschutz mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit sowie das Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz und die Stiftung Naturschutz Thüringen. Das Projekt wurde ausgezeichnet als offizielles Projekt der „UN-Dekade der biologischen Vielfalt“.



Abbildungen aus Ril 882

Vom Pixel zum Risiko

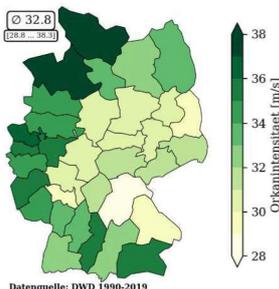
Informationsgrundlagen eines ganzheitlichen Vegetationsmanagements

DB Netz AG

Vegetationsstrategie – 1) Risikoklassifikation

Das Risiko von Baumstürzen ergibt sich aus meteorologischen Einflüssen, der betrieblichen Kritikalität und der Vegetationsexponiertheit

(1) Naturgefahr bzw. Klimawirkung



Datenquelle: DWD 1990-2019

Inputdaten (PIK Studie)

- Anzahl Starkwindtage pro PD (15m/s)
- Anzahl Sturmtage pro PD (20m/s)
- Anzahl von Orkantagen pro PD
- Orkanintensität pro PD

(2) Betriebliche Kritikalität



Inputdaten (DB)

- Segmenttyp (hA+, hA, mA)
- Netztyp (Vorrang-, Leistungs-, Regionalnetz)
- Elektrifizierung

(3) Exponiertheit



Inputdaten (LiveEO)

- Baumbestand in 15m Distanz je Streckenabschnitt
- Besitzverhältnisse (von DB oder Drittgrund) je Streckenabschnitt

Risikokartierung Streckennetz

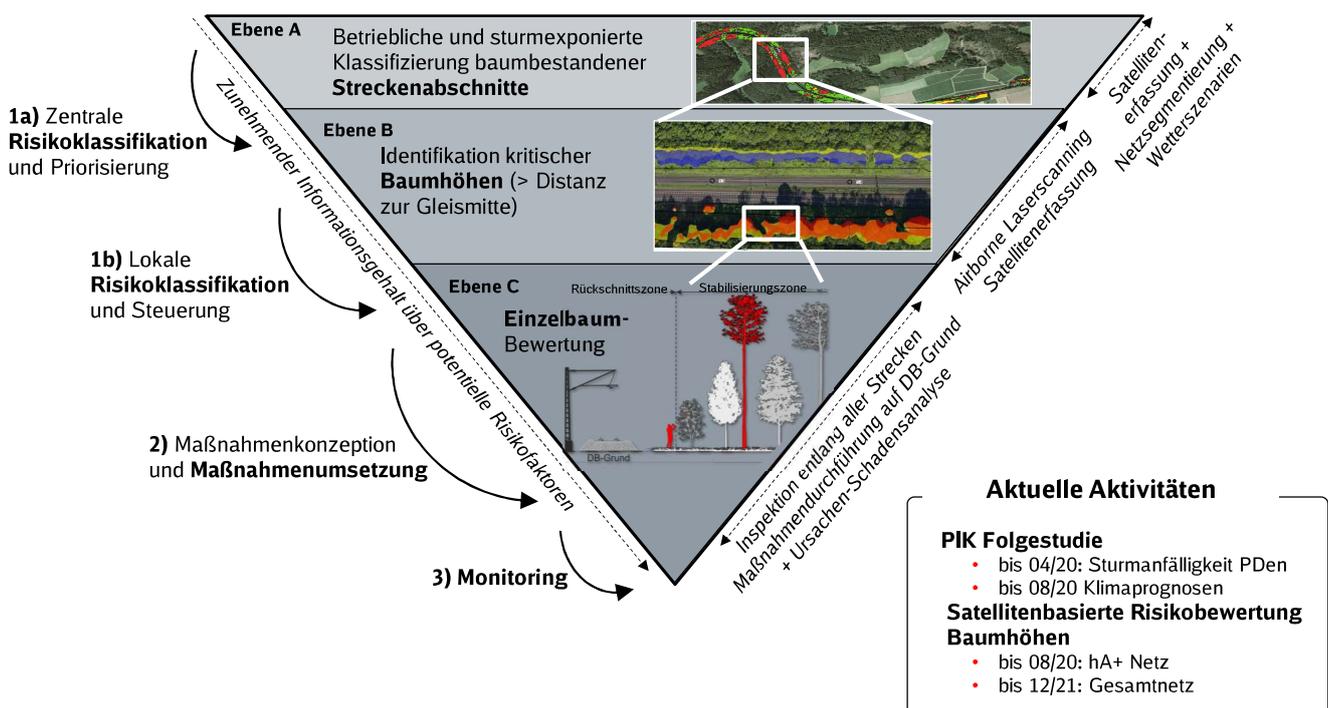
$$\text{Risiko (Baumsturz)} = f(\text{Sturmintensität, Anzahl Sturmtage, Segmenttyp, Netztyp, Elektrifizierung, Baumbestand, Besitzverhältnis})$$

Ein ganzheitliches Vegetationsmanagement benötigt eine aussagekräftige Informationsgrundlage



Vegetationsstrategie – 1) Risikoklassifikation

Zur Priorisierung der Präventionsmaßnahmen wird ein ganzheitliches Risikomanagement auf mehreren Ebenen verfolgt



Automatisierte, KI-basierte Kartierung invasiver Neophyten an Schweizer Nationalstrassen

Michael Nobis (michael.nobis@wsl.ch)¹⁾, Christoph Mayer ^{1,2)}, Christian Ginzler¹⁾, Radu Timofte²⁾

¹⁾ Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Schweiz

²⁾ ETH Zürich, Computer Vision Laboratory (CVL), Schweiz

Autobahnen und Eisenbahnlinien sind bedeutende Ausbreitungskorridore für invasive Arten, deren aktuelle Vorkommen oft jedoch nicht näher bekannt sind. Im vorgestellten Projekt wurde eine bildgestützte, auf künstlicher Intelligenz (KI, Deep Learning) basierende, automatisierte Erfassung zweier invasiver Neophyten an Autobahnen im Schweizer Mittelland entwickelt und angewendet.

1 Erfasste Neophyten

Als Testarten dienen das aus Südafrika stammende Schmalblättrige Greiskraut (*Senecio inaequidens*, Abb. 1) sowie der ursprünglich in China beheimatete Götterbaum (*Ailanthus altissima*, Abb. 2). Während der Götterbaum durch sein rasches Wachstum zu erhöhtem Unterhaltsaufwand führen und die Verkehrssicherheit beeinträchtigen kann, ist das Schmalblättrige Greiskraut besonders für die Landwirtschaft problematisch, sollte die Art von den Verkehrsträgern auf Kulturen, Wiesen und Weiden übergehen. Inhaltsstoffe des Greiskraut können als Lebergifte Nutztiere und den Menschen schädigen. Beide Arten stehen auf der «Schwarzen Liste» invasiver Neophyten der Schweiz. Der Götterbaum ist in der EU auf der «Liste invasiver gebietsfremder Arten von unionsweiter Bedeutung» (Unionsliste) geführt und das Schmalblättrige Greiskraut zählt gemäss «Freisetzungsverordnung» zu den in der Schweiz verbotenen Arten.



Abbildung 1: Das Schmalblättrige Greiskraut tritt oft in grossen Beständen als gelbe Bänder entlang der Mittelland-Autobahnen auf.



Abbildung 2: Grösserer Bestand des Götterbaums auf einem Mittelstreifen. Die Art breitet sich am Wuchsort vor allem durch Wurzelbrut aus.

2 Aufnahmetechnik und automatisierte Arterkennung

Für die Kartierung wurden Seiten- und Mittelstreifen aus einem Fahrzeug heraus bei durchschnittlich 82 km/h vom fliessenden Verkehr aus gefilmt (Abb. 3). Die befahrenen Autobahnabschnitte entsprechen mit ca. 690 km rund der Hälfte des gesamten Schweizer Autobahnnetzes. Die Strecken wurden während der Vegetationsperiode drei Mal befahren (Mai, August, Oktober). Für das Trainieren und Testen der neuronalen Netze markierten Experten in Bildern der Filme das Vorkommen oder Fehlen der beiden invasiven Neophyten – beim Schmalblättrigen Greiskraut zusätzlich getrennt nach blühenden und nicht-blühenden Vorkommen. Das Markieren der Arten erfolgte je Bild in jeweils 15 gleich grossen Bildkacheln (Teilbildern). Für das Trainieren der Netze standen für den Götterbaum knapp 1000 Bildkacheln und für blühende und nicht-blühende Vorkommen des Greiskrauts jeweils über 2000 Bildkacheln mit Vorkommen zur Verfügung. Es wurden verschiedene neuronalen Netze getestet, von denen sich ResNet152 für die Arterkennung als am besten geeignet erwies. Die erkannten Vorkommen des Götterbaums stimmten in 98.5% der Fälle mit den Angaben der Experten überein, wobei 88.6% der markierten Bildkacheln gefunden wurden (Abb. 4). Beim Schmalblättrigen Greiskraut waren dies 97.7% korrekt erkannte und 87.5% gefundene Bildkacheln.



Abbildung 3: Die fahrbahnnah Vegetation der Mittel- und Seitenstreifen wurde mit zwei Kameras gefilmt.



Abbildung 4: Die automatisierte Erkennung des Götterbaums (rote Markierungen) erfasst auch kleine Pflanzen, die meist aus Wurzelbrut stammen.

3 Kartierung und aktuelle Verbreitung

Für die Kartierung wurden Bilder im Abstand von fünf Metern aus dem Filmen extrahiert und die beiden invasiven Neophyten in diesen automatisiert erkannt. Die Kartierung basiert so auf rund 1.35 Millionen georeferenzierten Bildern mit über 20 Millionen automatisiert bearbeiteten Bildkacheln. Diese liefern detailreiche Verbreitungskarten, wobei die Methode eine gute Reproduzierbarkeit aufweist (Abb. 5).

Die beiden invasiven Neophyten wachsen an Autobahnen im Schweizer Mittelland derzeit häufiger auf Mittelstreifen als auf Seitenstreifen, zeigen ansonsten aber unterschiedliche Verbreitungsmuster. Der Götterbaum kommt besonders in der Nähe von Agglomerationen vor und fehlt noch auf grösseren Streckenabschnitten. Im Gegensatz dazu besiedelt das Schmalblättrige Greiskraut bereits nahezu das gesamte Autobahnnetz. Während die Ausbreitungsdynamik des Götterbaums offenkundig auf den Sameneintrag von Zier- und

Strassenbäumen im Siedlungsbereich angewiesen ist, breitet sich das Greiskraut selbständig entlang der Autobahnen aus. Auswertungen auf Ebene der für den Unterhalt zuständigen Gebietseinheiten zeigen lassen ferner den Einfluss unterschiedlicher Grünpflege auf das Vorkommen der beiden invasiven Arten erkennen.

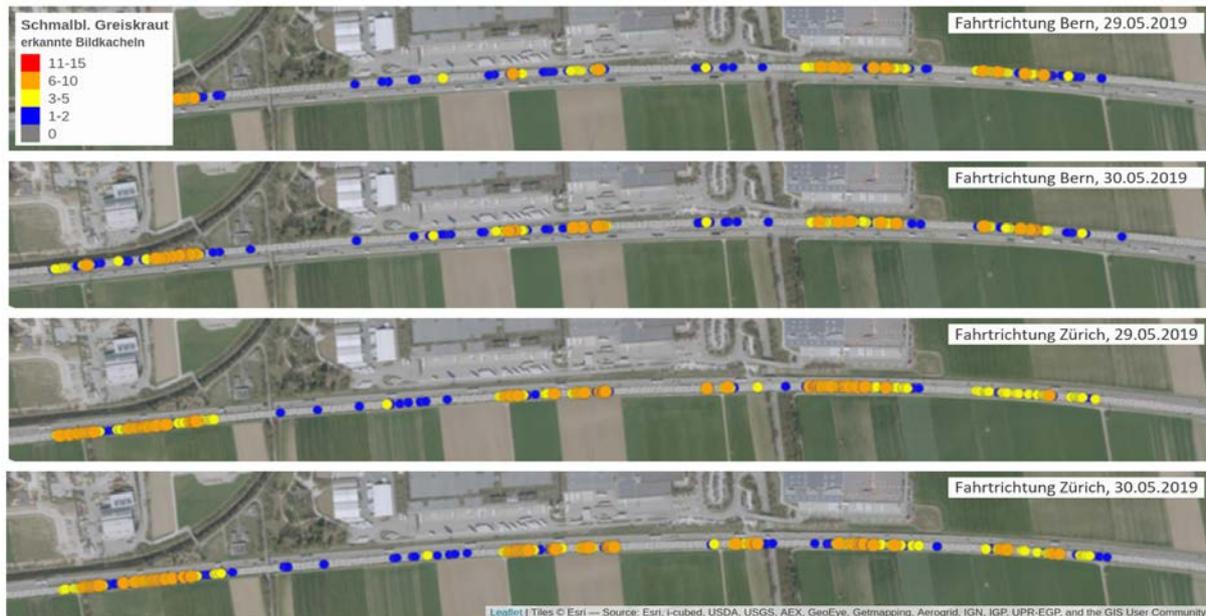


Abbildung 5: Gute Reproduzierbarkeit der Kartierung: Trotz unterschiedlicher Fahrtrichtung und unterschiedlichem Aufnahmedatum wurde das Vorkommen des Schmalblättrigen Greiskrauts auf einem Mittelstreifen sehr ähnlich erfasst.

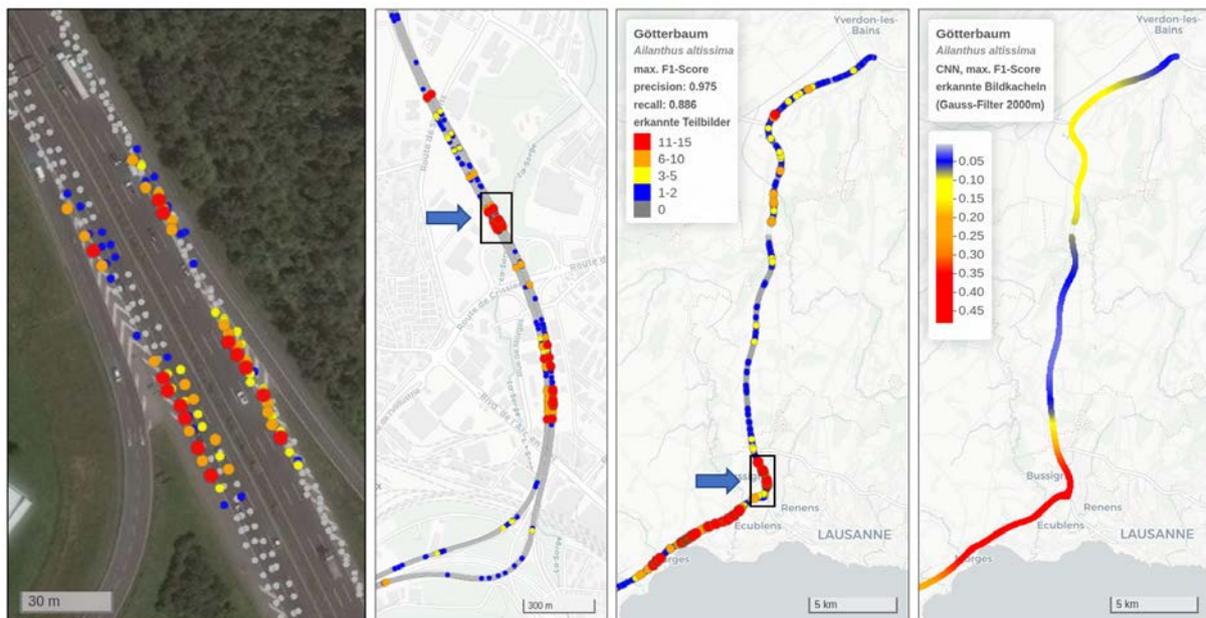


Abbildung 6: Der Ansatz eignet sich für grossräumige Kartierungen mit hoher räumlicher Auflösung. In der linken Karte sind die erkannten Vorkommen des Götterbaums auf einem Mittelstreifen an den Fahrzeugpositionen der drei Befahrungen dargestellt.

4 Schlussfolgerungen

Der entwickelte, auf Deep Learning basierende Kartieransatz hat sich bewährt. Er liefert gut reproduzierbare, räumlich hoch aufgelöste Verbreitungskarten (Abb. 6), die mit einer klassischen Experten-Kartierung nicht mit vertretbarem Aufwand erstellt werden können. Die umfangreichen Verbreitungsdaten sind sowohl für die Praxis (Grünpflege, Neophyten-Management) als auch die Neobiota-Forschung von Interesse. Der Ansatz kann auch für ein Monitoring invasiver Neophyten auf einem grösseren Strassennetz verwendet werden. Dabei können weitere Arten berücksichtigt werden, sofern diese im Bildmaterial gut zu erkennen sind. Es ist davon auszugehen, dass bei der aktuellen Entwicklung in den Bereichen künstlicher Intelligenz undameratechnik entsprechende Anwendungen der automatisierten Arterkennung und Kartierung in Forschung und Praxis rasch an Bedeutung gewinnen werden.

Danksagung

Das Projekt wurde durch das Bundesamt für Strassen (ASTRA) sowie das Bundesamt für Umwelt (BAFU) gefördert (Projektnummer VSS 2016/224).

Projekt-Homepage

<https://www.wsl.ch/de/projekte/automatisierte-erfassung-invasiver-neophyten-an-autobahnen.html>



Laserscanning von Vegetation
 Automatisierte Vegetationserkennung
 mit Lichtraumscannerdaten

Dipl.-Ing. Erik PINTER – ÖBB-Infrastruktur AG
 FGSV-Expertenworkshop "innovative
 Erfassungsmethoden", 29.10.2020

Wir planen, bauen, betreiben und erhalten Eisenbahninfrastruktur





Lichtraumscannerdaten der ÖBB

Woher kommen diese Daten?

Wozu dienen sie?

Lichtraumscannerdaten

ÖBB-Messwagen

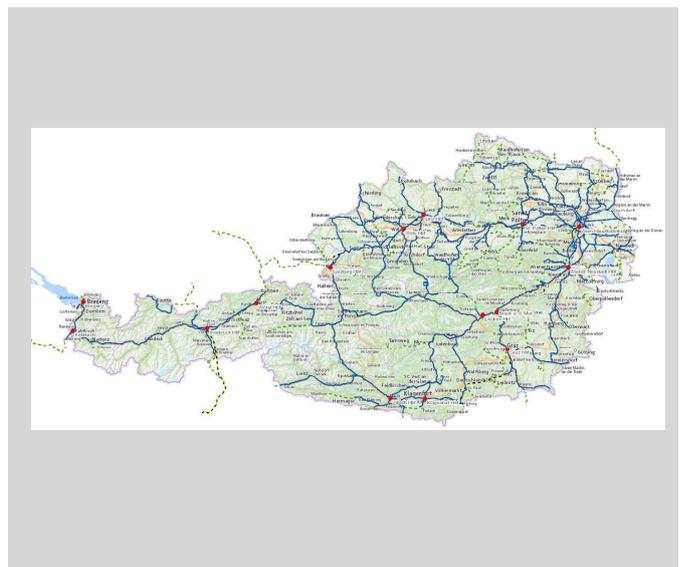
- Gleisgeometrie, Schienenprofile, Schienenoberfläche, Streckenbilder,...
- **alle 25 cm** ein **Lichtraumscannerprofil** mit ca. 2000-3000 Punkten



Lichtraumscannerdaten

ÖBB-Messwagen

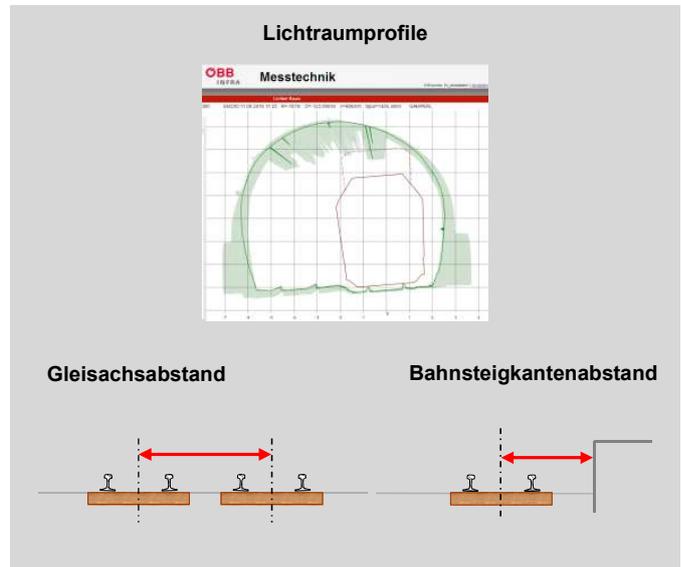
- Gleisgeometrie, Schienenprofile, Schienenoberfläche, Streckenbilder,...
- **alle 25 cm** ein **Lichtraumscannerprofil** mit ca. 2000-3000 Punkten
- **netzweit auf allen Hauptgleisen** der ÖBB-Infra AG aufgenommen



Lichtraumscannerdaten

Verwendung

- Lichtraum
- Gleisachsabstand
- Bahnsteigkantenabstand



Lichtraumscannerdaten... ...für die Zustandserfassung

Können über den Lichtraumscanner Rückschlüsse auf den Zustand der gleisnahen Entwässerungsanlagen (offene) gezogen werden?

(netzweit, automatisiert!)

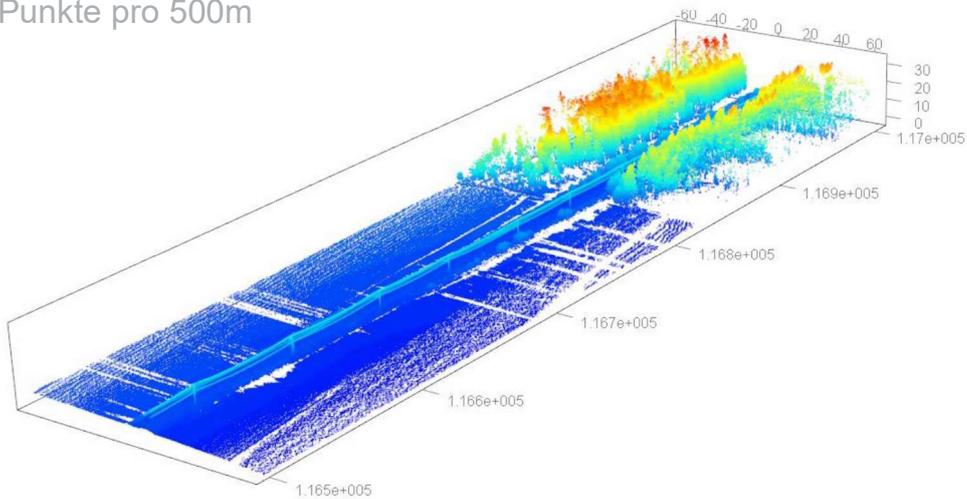
Vegetationserkennung mit Lichtraumscannerdaten



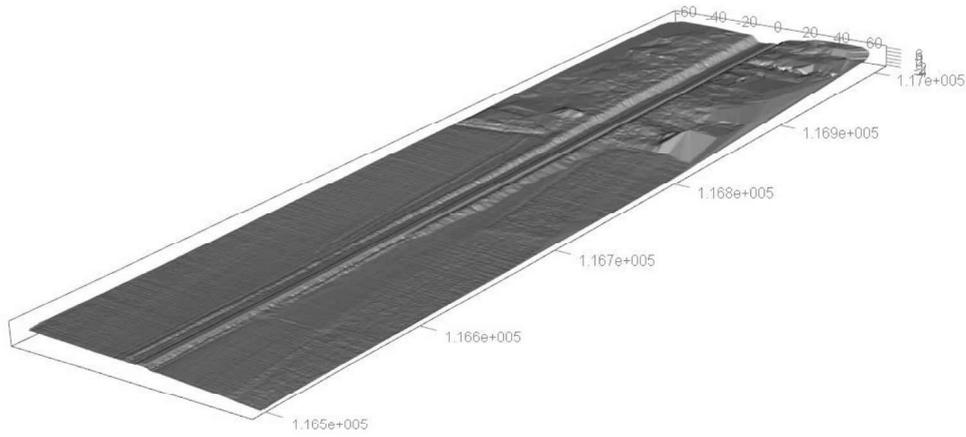
Vegetationserkennung mit Lichtraumscannerdaten

Detailreichtum der Rohdaten

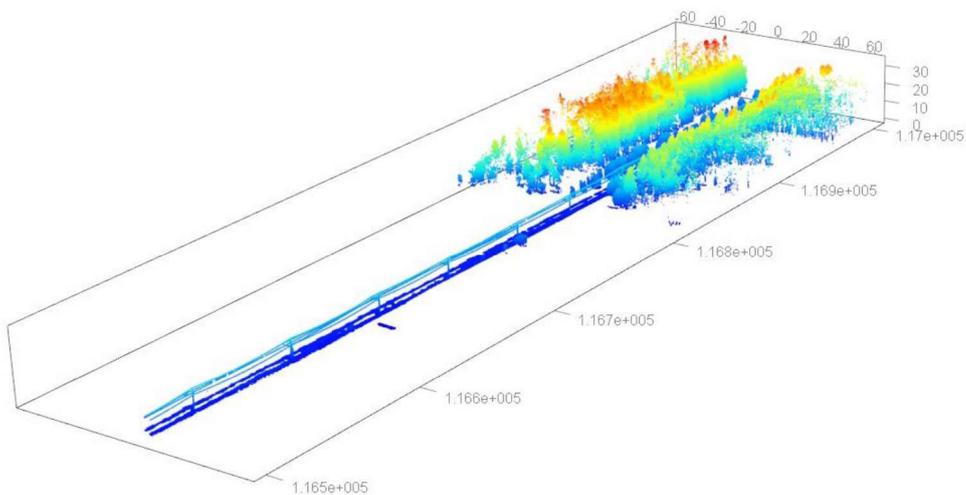
~3,5 Mio. Punkte pro 500m



Geländemodell



Das „Rauschen“ ist hauptsächlich Vegetation!





ÖBB-Infrastruktur AG/SAE/FWT (Öffentlich)
Digitalisierung im Fachbereich Fahrwegtechnik

Erik Pinter

29.10.2020

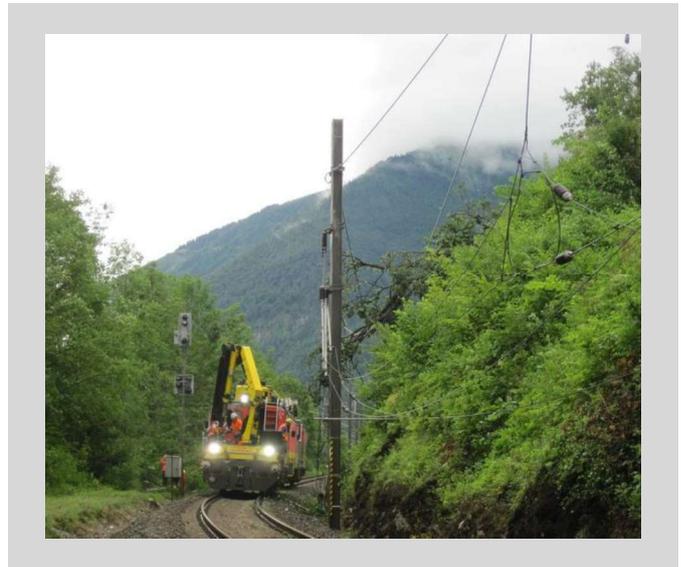
17

Lichtraumscannerdaten... ...für die Vegetationserkennung

Können aus den Daten-Punktwolken einzelne Bäume erkannt werden?
Kann daraus die Gefährdung für die Strecke an dieser Stelle abgeleitet werden?

Vegetation entlang der Strecken

- Ereignisse mit **Baumwürfen und –brüchen**
- **Störungen und Verfügbarkeitseinschränkungen**

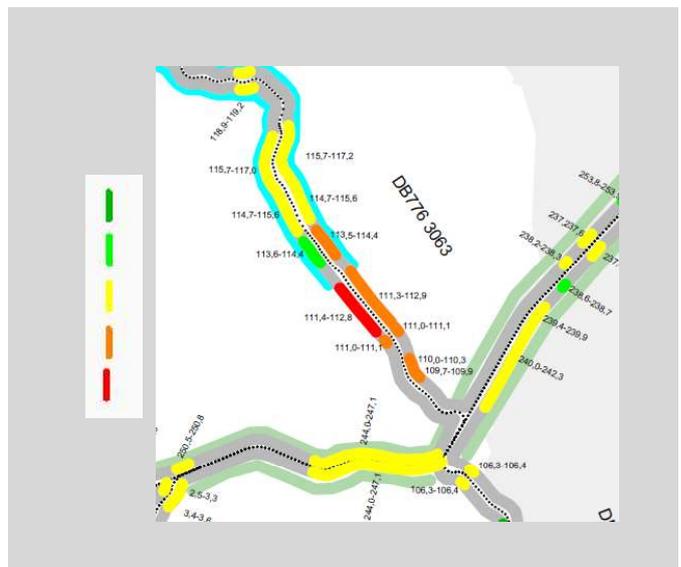


Vegetation entlang der Strecken

- Ereignisse mit **Baumwürfen und –brüchen**
- **Störungen und Verfügbarkeitseinschränkungen**

Grünraummanagement

- **Baumwurf- / Baumbruchrisiko** wird durch Begehungen vor Ort augenscheinlich erfasst
→ **zeit- und arbeitsintensiv**

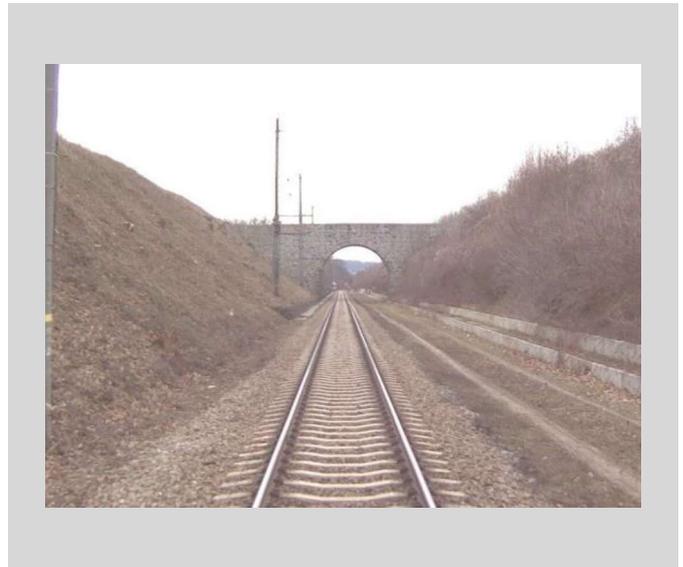


Vegetation entlang der Strecken

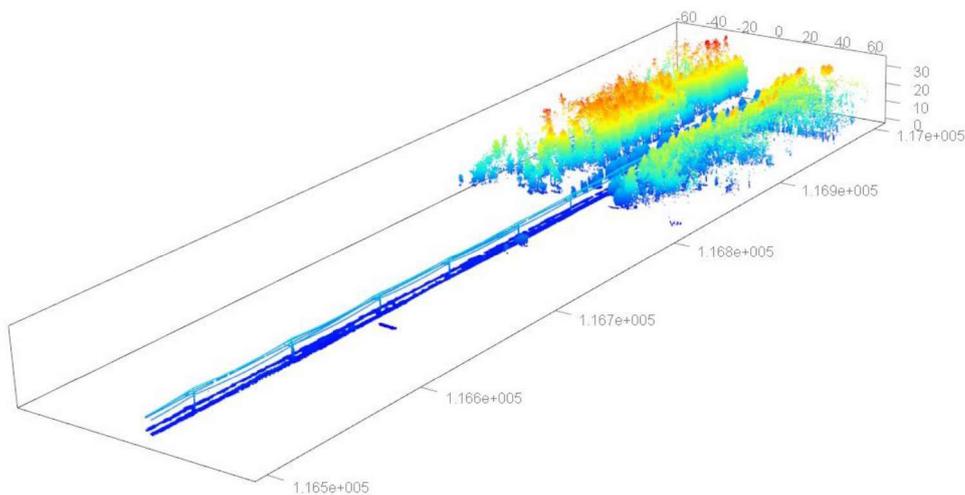
- Ereignisse mit **Baumwürfen und –brüchen**
- **Störungen und Verfügbarkeitseinschränkungen**

Grünraummanagement

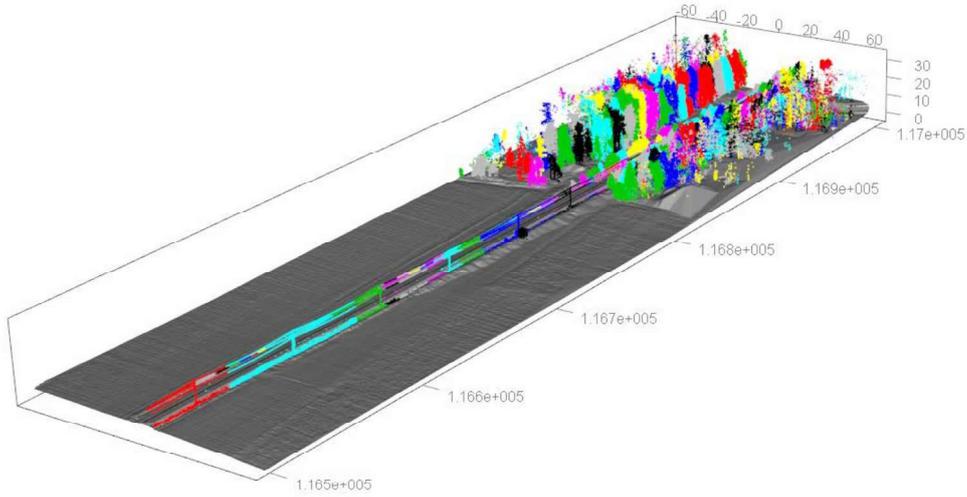
- **Baumwurf- / Baumbruchrisiko** wird durch Begehungen vor Ort augenscheinlich erfasst → **zeit- und arbeitsintensiv**
- Task Force „BAUMWURF“

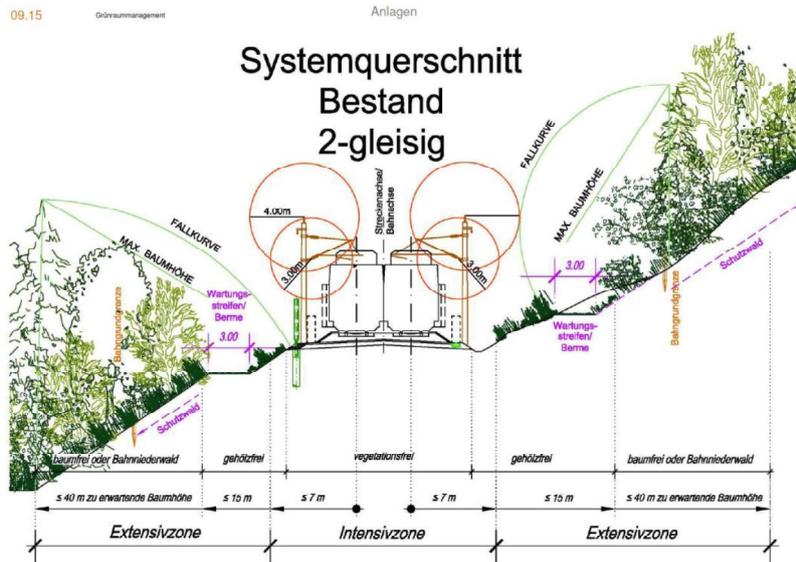


Das „Rauschen“ ist hauptsächlich Vegetation!

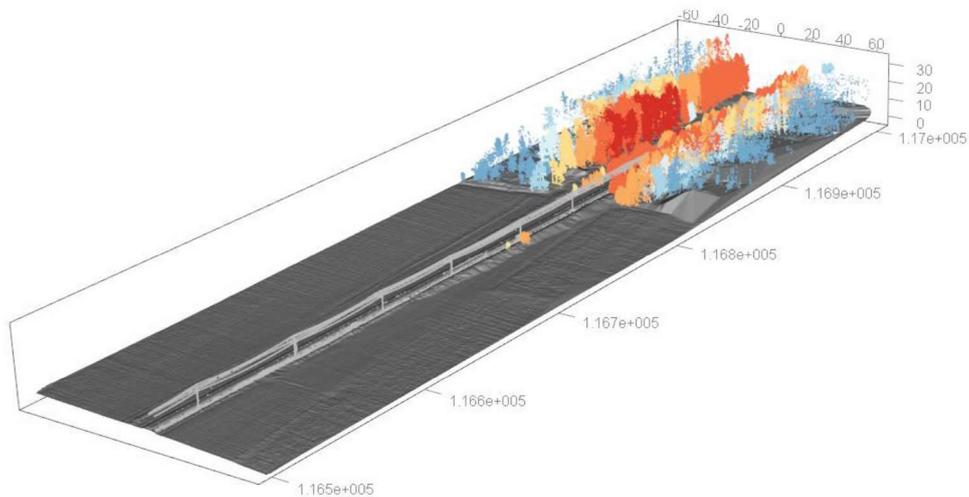


Bildung von Vegetationsclustern

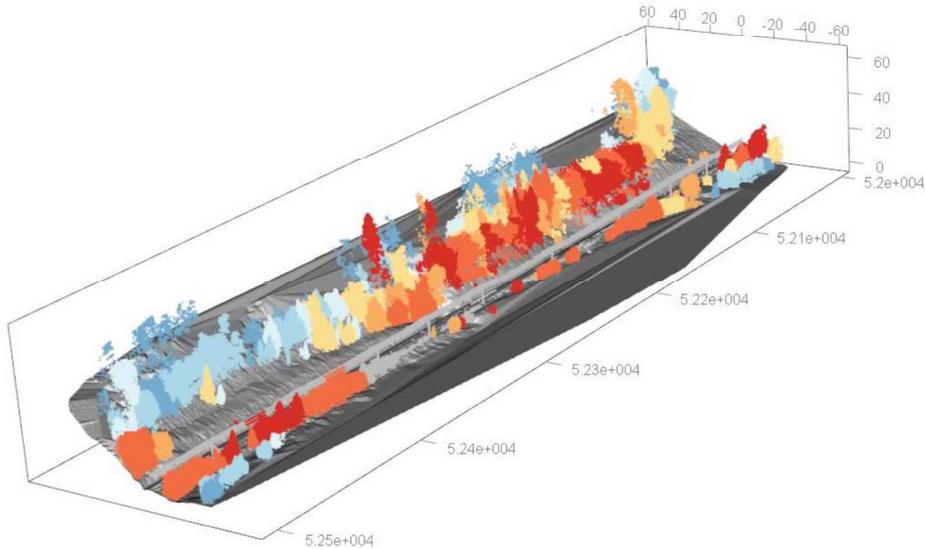




Risiko für die Schienen-Infrastruktur



Risiko für die Schienen-Infrastruktur

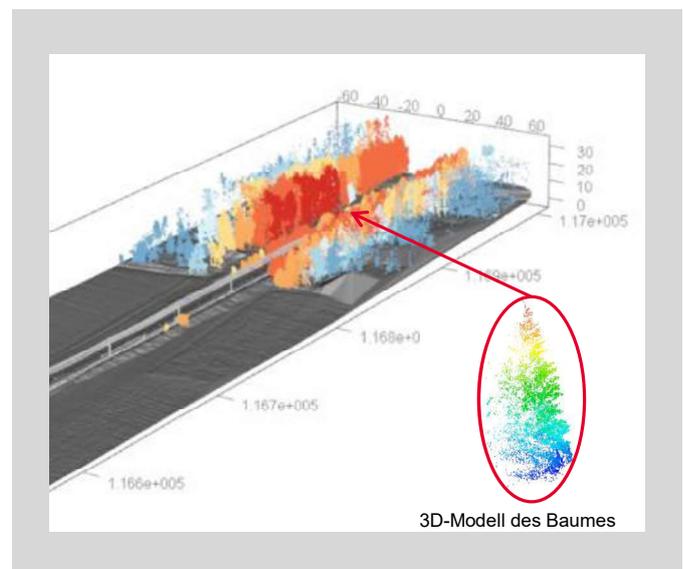


Detektion von Bäumen (baumähnlichen Objekten)

- Klassifizierung der **Geländepunkte**
- Erzeugung eines **Digitalen Geländemodells**
- Erzeugung eines **Vegetationshöhenmodells**
- **Clustering/Segmentierung der Bäume**
- **Zuweisung des Gefährdungspotentials** aufgrund der Kriterien des Regelwerks

Gratulation! That's it!

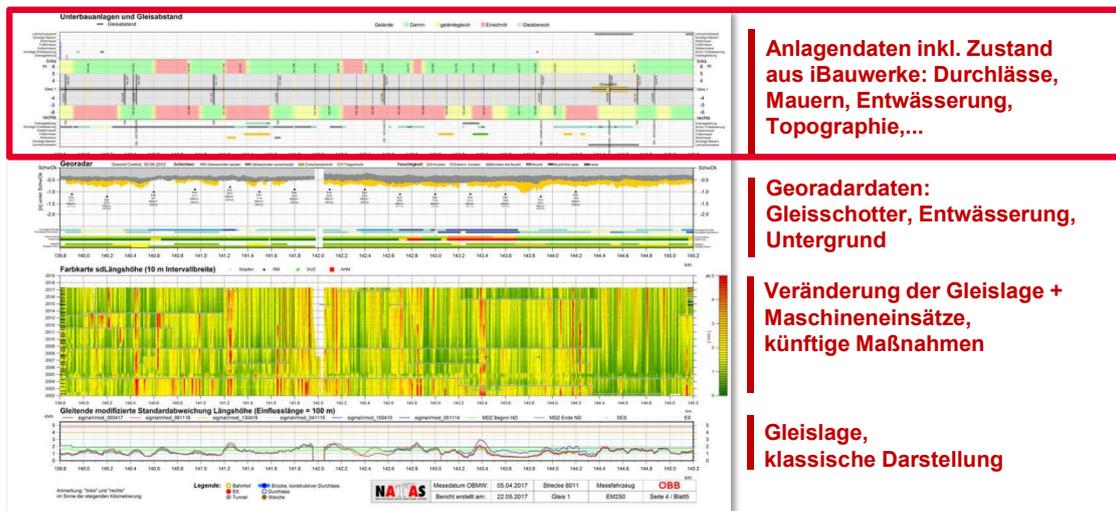
It's not rocket science...



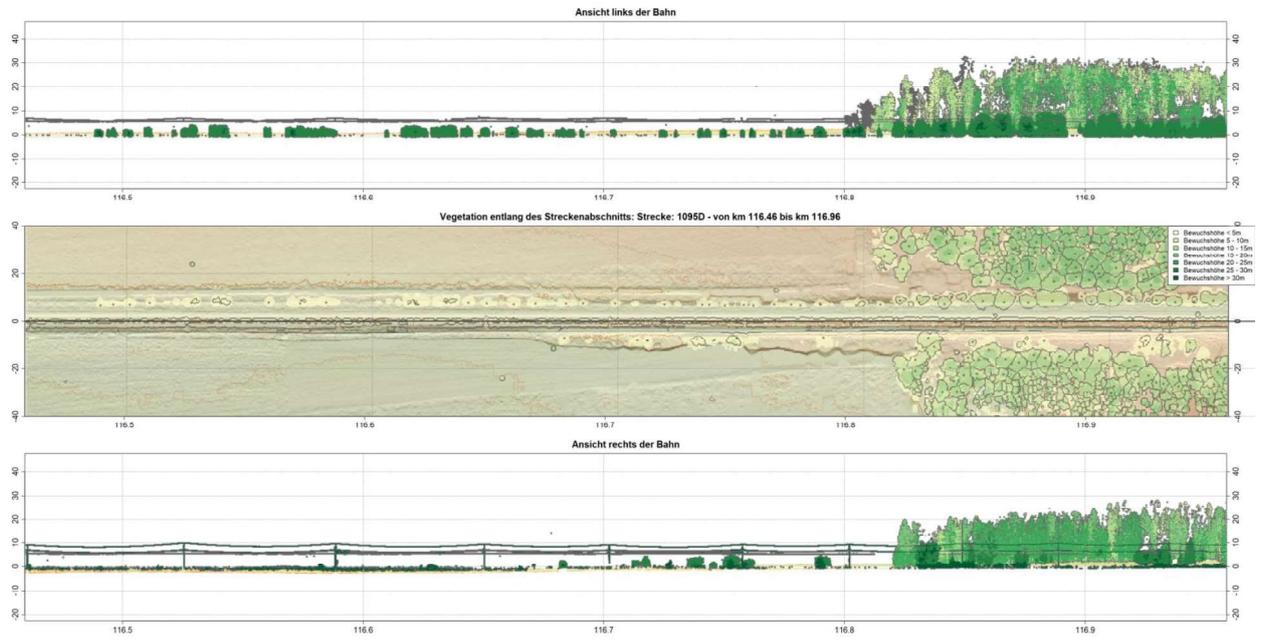
Implementierung

Wie bekommt der Anlagenverantwortliche die Information?

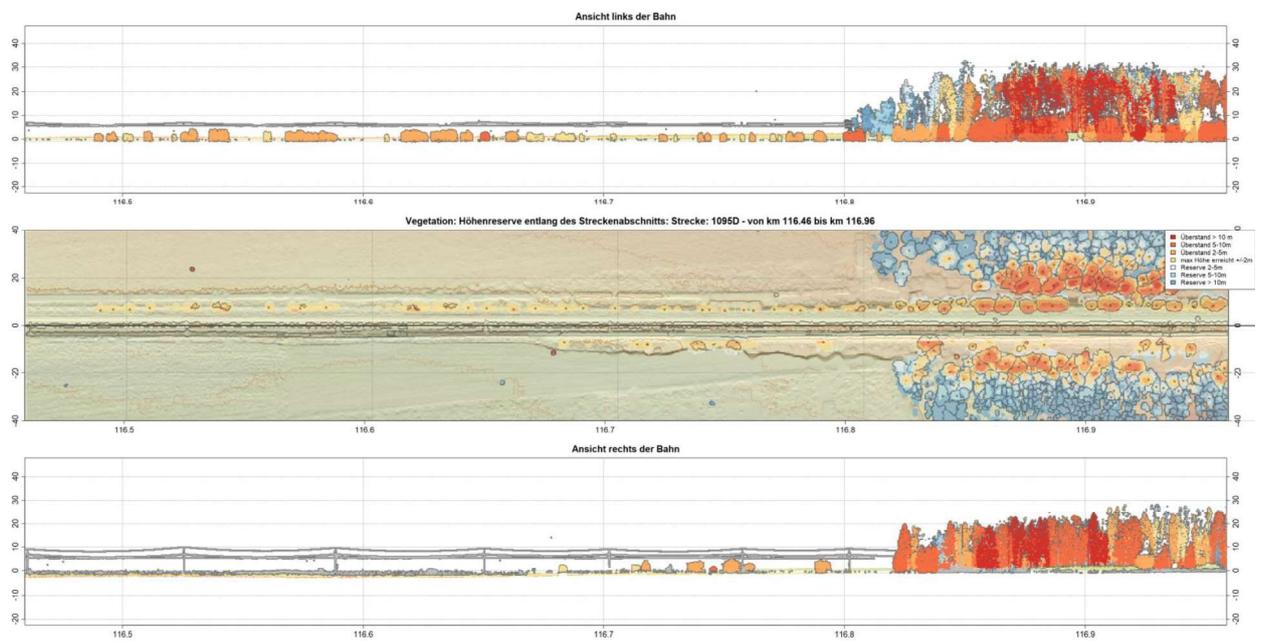
NATAS-Unterbaudatenblatt (Darstellung von je 5 km)

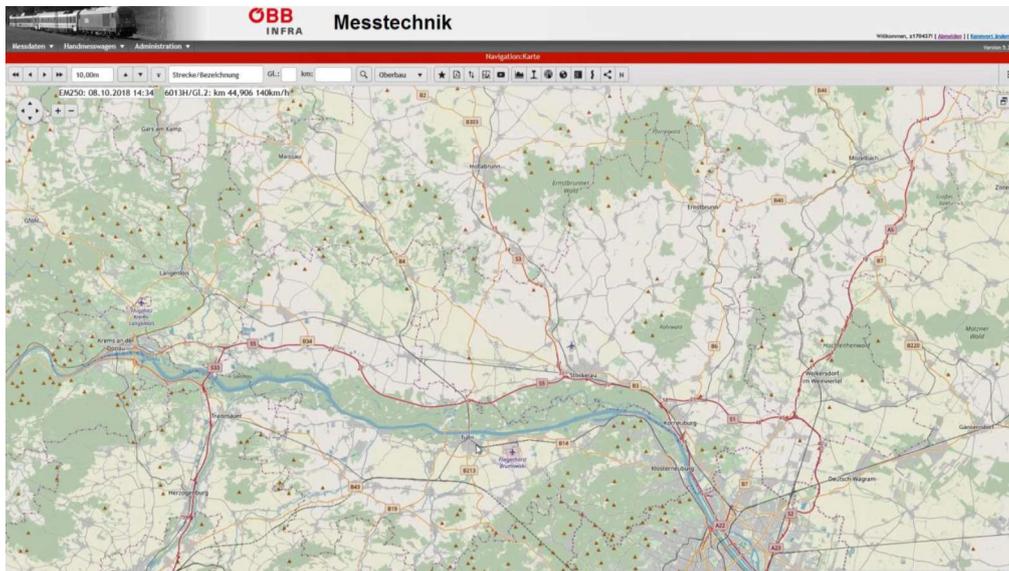


Vegetationserkennung mit Lichtraumscannerdaten



Vegetationserkennung mit Lichtraumscannerdaten





Was sind die Vorteile?

netzweite Verfügbarkeit der Daten - periodisch aktualisiert! (~300 Mio. Scans)

Datenanalyse ist „kostenlos“ (keine zusätzlichen Kosten) – **inhouse!**

Die Ergebnisse bilden die Grundlage für eine **Priorisierung präventiver Maßnahmen**

Kostensparnis: zeit- und personalaufwändige Inspektionen können eingespart werden

erhöhte Streckenverfügbarkeit: Reduktion von Störungen durch Baumwürfe und –brüche

Weitere Infos:



Dipl.-Ing. Erik Pinter
SAE / Fahrwegtechnik
Tel: +43 664 617 3660
erik.pinter@oebb.at
www.linkedin.com/in/erik-pinter/

Vegetationsmonitoring durch Lichtraumscannerdaten:
Eisenbahningenieur 7/2019, 42-45.



Danke für die Aufmerksamkeit!



EURAIL-ING DI Erik Pinter
SAE / Fahrwegtechnik / Fahrweganalyse
Tel: +43 664 617 3660
erik.pinter@oebb.at

Baumbewegungssensor TMS (Tree Motion Sensor) zur Überprüfung der Standfestigkeit

Arborist B. Sc. Kilian Wiegmann, Argus Electronic, Rostock

Die Standfestigkeit oder Standsicherheit von Bäumen ist als Teil der gesamten Verkehrssicherheit, insbesondere bei Bäumen an Verkehrswegen, von Bedeutung. Baumeigentümer tragen prinzipiell Verantwortung für ihre Erhaltung. Andererseits ist die Standsicherheit, vor allem in Abgrenzung zur Bruchsicherheit, schwer einzuschätzen. Ihre wesentlichen Einflüsse finden zumeist verborgen im Untergrund statt. Obwohl sie im natürlichen Zustand des Baumes als gegeben betrachtet werden kann, müssen Abweichungen von diesem Zustand an Hand von Indizien wie Veränderungen des Wurzelraumes oder Spuren von Eingriffen erkannt und beurteilt werden. Eine tatsächliche Symptomansprache kann nur invasiv durch Aufgraben, beziehungsweise etwas schonender durch Absaugen des Bodens erfolgen. Oder aber man beurteilt den Zustand der Verankerung durch den Einsatz von Messtechnik.

Während sich für die Untersuchung oberirdischer Baumteile in den letzten 20 bis 30 Jahren eine vergleichbar große Zahl von Untersuchungsmethoden etabliert hat, stand für Untersuchungen der Verankerung eines Baumes und der Standsicherheit lange Zeit nur der baumstatische Zugversuch zur Verfügung.

Diese Methode setzt den Baum kontrolliert einer künstlich erzeugten Windersatzlast (=Zug) aus. Die gemessene Reaktion auf die bekannte Last wird verglichen mit der Last, die durch einen Orkan auf den Baum ausgeübt würde. Der sich hieraus ergebende Sicherheitsfaktor gibt zweifelsfrei an, ob ein untersuchter Baum in seinem festgestellten Zustand standsicher ist oder nicht. Die Methode hat ihre Berechtigung, insbesondere wegen der hohen Präzision und Aussagekraft der Ergebnisse (WESSOLLY 2010, DETTER & RUST 2013). Diese werden allerdings durch einen recht hohen Aufwand in Versuchsaufbau und Auswertung erkauft.

Ein alternativer Ansatz zur Messung der Standfestigkeit im Kontext der Verkehrssicherheit ist die Messung der Baumbewegungen im natürlichen Wind. Diese hat nicht nur den methodischen Vorteil eines stark vereinfachten Versuchsaufbaus, weil auf künstliche Windersatzlasten verzichtet wird, sondern verspricht auch Erkenntnisse in Bezug auf dynamische Windreaktionen des Baumes sowie die Berücksichtigung tatsächlicher lokaler Windphänomene, die durch Windlastabschätzungen nur schwer zu beschreiben sind.

Zur Durchführung solcher Messungen wurden die so genannten TreeMotionSensoren (kurz TMS) entwickelt. Messtechnisch betrachtet handelt es sich dabei um Neigungssensoren, die unmittelbar über der Erdgleiche am Baumstamm befestigt werden. Alle Baumbewegungen, die stark genug ausfallen um an dem Wurzelballen, dem Verankerungspunkt des Baumes, wirksam zu werden, werden dort aufgezeichnet.

Der Winkelsensor ist eingebettet in ein Messgerät, das gleichzeitig klein und unauffällig wie auch besonders kompakt und robust ausgelegt ist. Dies ist vor allem der Tatsache geschuldet, dass Messungen von windinduzierten Baumbewegungen in der Praxis nicht präzise terminierbar sind und oft mehrere Stunden bis wenige Tage in Anspruch nehmen. Die Bauform der Messgeräte ist also optimiert für autarke Messoperationen, die entsprechend lange andauern.

Der klassische TMS ist optimiert für einmalige Untersuchungen von Bäumen. Er wird bei günstiger Wettervorhersage, das heißt Wind der Stärke 6 oder höher, am zu untersuchenden Baum befestigt und mit Hilfe eines handelsüblichen Smartphones eingeschaltet. Von diesem

Moment an zeichnet der Sensor bis zu 21 Tage lang permanent alle Neigungen des Baumes auf, je mehr Wind herrscht, desto deutlicher werden die Ergebnisse. Während dieser Zeit schützt das robuste Design und die absolute Wasserdichtigkeit die Messtechnik vor Schäden, während die kleine Bauform und die Unauffälligkeit unerwünschte Manipulationen vermeiden. Der Anwender entscheidet durch Beobachtung der Wetterlage, wann die Messung beendet wird. Hat der Wind nachgelassen, wird der Sensor abgeholt und ausgelesen. Die Neigungsdaten werden in der zugehörigen Software mit Winddaten ergänzt. Diese können vom Nutzer mit einer eigenen Messstation erhoben, oder aus einer beliebigen zugänglichen Quelle importiert werden. Aus der Zusammenstellung von Neigungswerten und den zugeordneten lokalen Windgeschwindigkeiten, wird automatisch eine individuelle Wind-Neigungs-Kurve des Baumes erstellt. Diese charakterisiert die Reaktion und das Neigungsverhalten des Baumes im Wind. Sie kann für sich oder im Vergleich zu den charakteristischen Kurven anderer Bäume interpretiert werden.

Neben den zuvor beschriebenen Sensoren für einmalige Messungen sind auch Systeme verfügbar, die auf deutlich längere Laufzeiten, und damit eine mehr oder weniger permanente Überwachung ausgelegt sind. Die Sensorik ist dabei sehr ähnlich, allerdings sind alle Komponenten um ein Solarmodul erweitert. Mit dieser zusätzlichen Energieversorgung sind Systemlaufzeiten von bis zu einem Jahr oder sogar darüber hinaus realistisch. Da diese Messgeräte nicht mehr nach absehbarer Zeit eingesammelt werden, erfolgt der Datentransfer direkt vom Baum in eine Cloud. Um die Datenmenge ökonomisch zu halten, wird nicht permanent, sondern Ereignis-induziert gemessen. Es entstehen also nur Messdaten, wenn auch Bewegung am Baum stattfindet. Diese Messdaten werden ebenfalls mit Windinformationen, von einem in das System eingebunden Anemometer oder einer beliebigen externen Quelle, kombiniert. Die errechneten Wind-Neigungs-Kurven können genauso interpretiert werden, wie die einzelner Windereignisse. Hinzu kommt bei anhaltenden Messungen die Möglichkeit, das Verhalten eines bestimmten Baumes mit Windreaktionen auf frühere Windereignisse zu vergleichen. So können Trends und Entwicklungen erkannt und beobachtet sowie der Einfluss von Eingriffen, die inzwischen stattgefunden haben, beurteilt werden.

Unabhängig von der genauen Systemauslegung erlaubt das Messprinzip der TreeMotionSensoren verschiedene Anwendungs- und Auswertungsszenarien.

Besonders der Vergleich von Messungen an Bäumen einer vergleichbaren Gruppe ist aufschlussreich. Durch den niedrigen Installationsaufwand der TMS bieten sie sich ohnehin besonders für Untersuchungen an größeren Anzahlen von Bäumen an. Durch den Vergleich in der Gruppe werden zum Einen solche Bäume erkennbar, deren Neigung absolut verdächtige Ausmaße annimmt, zum Anderen werden durch den Vergleich mit ähnlichen Bäumen, die den selben Standort und eine vergleichbare Windexposition aufweisen, auch kleinere Abweichungen, die als Absolutwert nicht auffällig oder nicht zuzuordnen wären, einschätzbar. Auch falls die Neigungsmessung mit TMS selbst keine abschließende Beurteilung der Standsicherheit erlauben sollte, sind TreeMotionSensoren geeignet durch die aufwandsarme Prüfung größerer Baumanzahlen die Exemplare festzustellen, bei denen begründete Zweifel an der Sicherheit bestehen, um dann weitere Maßnahmen auf diese fokussieren zu können.

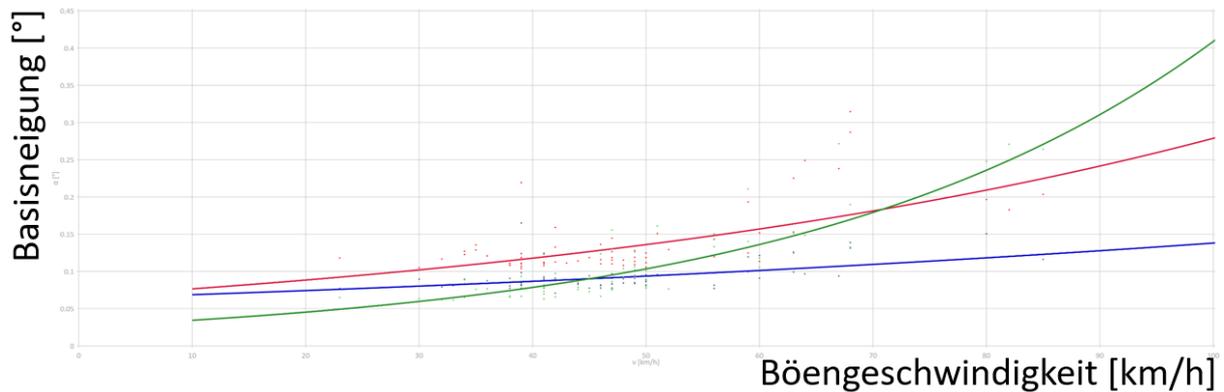


Abb.: Neigungen dreier Linden über die Windgeschwindigkeit aufgetragen. Der grün dargestellte Baum zeigt größere Bewegungen. Bei Windböen bis 85 km/h wurden gut 0,25° Neigung erreicht.

Weitere Anwendungsmöglichkeiten liegen in der wiederholten -oder andauernden- Überwachung einzelner Bäume von herausragendem Wert oder besonderem Interesse. Langsam verlaufende Degenerationsprozesse können durch wiederholte Messungen unter vergleichbaren Windbedingungen eingeschätzt werden. Während eine Zunahme der Neigung bei gleicher Windgeschwindigkeit eine tendenzielle Abnahme der Standsicherheit vermuten lässt, können gleichbleibende oder sogar kleiner werdende Windreaktionen Zeichen von vitaler Kompensation erlittener Schäden sein.

Analog hierzu kann auch ein Vergleich der Windreaktion vor und nach bestimmten Ereignissen angestellt werden, beispielsweise vor und nach der Durchführung von Bauarbeiten mit vermuteten statisch relevanten Wurzelverlusten. Eine Kontrollmessung bei ausreichend starkem Wind vor den Arbeiten dokumentiert den natürlichen Zustand. Die wiederholte Messung unter vergleichbaren Bedingungen nach der Bauausführung zeigt gegebenenfalls an, ob eine Verschlechterung der Verankerung stattgefunden hat oder ob das Neigungsverhalten immer noch vergleichbar ist.

Allen Auswertungsvarianten ist gemein, dass es einer gewissen Fachkenntnis bedarf, um die Bedeutung der Neigungswerte für Verankerung und Standsicherheit eines Baumes zu interpretieren. Erfahrung in der Auswertung von windinduzierten Neigungsdaten ist von Vorteil, um einzelne Ergebnisse einschätzen zu können.

Bei der Messung von Baumbewegungen durch TreeMotionSensoren handelt es sich um einen Ansatz, der auf die Einschätzung der Standsicherheit von Bäumen abzielt. Damit befasst sich diese Methode mit dem Bestandteil der Verkehrssicherheit, der in Abgrenzung zur Bruchsicherheit oft schwieriger einzuschätzen ist. Für den Einsatz von TMS spricht besonders der niedrige Installations- und Auswertungsaufwand sowie die Möglichkeit Gruppen von Bäumen gleichzeitig zu behandeln.

DETTER, A., RUST, S., 2013: Aktuelle Untersuchungsergebnisse zu Zugversuchen. In: Dujesiefken, D. (Hrsg.), 2013: Jahrbuch der Baumpflege 2013. Haymarket Media GmbH & Co. KG. Braunschweig. 87-100.

GOECKE, L., RUST, S., RUHL, F., 2018: Assessing the Anchorage and Critical Wind Speed of Urban Trees using Root-Plate Inclination in High Winds. *Arboriculture & Urban Forestry* **44**. <http://auf.isa-arbor.com/articles.asp?JournalID=1&VolumeID=44&IssueID=1>

RUST, S.; GOECKE, L., 2015: Correlation of wind speed and root plate tilt of trees in urban environment. In: International Society of Arboriculture (Hrsg.), 2015: ISA Annual Conference. Orlando.

https://www.academia.edu/15142768/Correlation_of_wind_speed_and_root_plate_tilt_of_trees_in_urban_environment

WESSOLLY, L., 2010: 25 Jahre Baumstatik – Eine Bilanz. Pro Baum, Zeitschrift für Pflanzung pflege und erhaltung 3 (2010), 9-15.

Fortschreibung der Standards faunistischer Erfassung im Straßenbau

Klaus Albrecht*

*ANUVA Stadt- und Umweltplanung GmbH

Nordostpark 89
90411 Nürnberg
Deutschland

In diesem Aufsatz beschäftige ich mich mit der Frage, welche Rolle die am ersten Tag des Expertenworkshops vorgestellten, innovativen faunistischen Erfassungsmethoden für die Fortschreibung von Standardleistungsbildern spielen können. Dazu soll nachfolgenden zunächst kurz resümiert werden, welche Aufgaben Standards erfüllen können.

Aktuelle Standards – welche Aufgaben erfüllen sie?

Mit dem Forschungsvorhaben „Leistungsbeschreibungen für faunistische Untersuchungen - FE 02.0332/2011/LRB“ im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden zuletzt im Jahr 2015 (Albrecht et al. 2015) die faunistischen Erfassungsstandards grundlegend überarbeitet und an den Stand von Wissenschaft und Technik angepasst. Die Ergebnisse dieser Arbeit fanden vor allem Eingang in das „Handbuch für die Vergabe und Ausführung von freiberuflichen Leistungen im Straßen- und Brückenbau (HVA F-StB)“, das inzwischen in einer aktuellen Fassung aus 2021 vorliegt (BMVI 2021). Die im Forschungsvorhaben zusammengestellten Erfassungsmethoden haben sich auch jenseits des Straßenbaus für andere Vorhaben als allgemeiner Standard etabliert und finden sich so in verschiedenen Leistungsbildern wieder.

Die im Forschungsvorhaben definierten Standards sollten einerseits den Untersuchungsaufwand festlegen, der für eine valide faunistische Eingriffsbeurteilung im Regelfall adäquate Ergebnisse liefert. Dabei spielten die Anforderungen des besonderen Arten- und Gebietsschutzes, der Rechtsprechung sowie der europarechtlich verankerte Verhältnismäßigkeitsgrundsatz eine wesentliche Rolle. So kann nach gängiger Rechtsprechung z.B. einem Vorhabenträger nicht die Aufgabe zugemutet werden, Grundlagenforschung im Rahmen eines konkreten Projekts durchzuführen.

Andererseits sollte mit dem Forschungsvorhaben der Blick dafür geschärft werden, dass es keine Patentrezepte für alle Projekte geben kann und für jedes Vorhaben im Einzelfall der erforderliche Untersuchungsaufwand ermittelt und begründet werden sollte. Dafür wurden mit Checklisten und Hinweisen in den Methodenblättern entsprechende Hilfestellungen angeboten. Dieses Instrumentarium ermöglicht eine begründete Herleitung eines projektspezifischen faunistischen Untersuchungsprogrammes und stellt somit die Einholung vergleichbarer Angebote sicher.

Im Forschungsvorhaben wurde ebenfalls klargestellt, dass solche Erfassungsstandards nicht für jeden Problemfall und jede Fragestellung die geeignete Methode enthalten können. So wurde in jedem Methodenblatt zu einer Erfassung dargestellt, wo die Grenzen des Erkenntnisgewinns mit der jeweiligen Methode liegen. Daraus kann ein Gutachter ableiten, ob für die im jeweiligen Projekt relevante Frage ggf. weitere Untersuchungen notwendig werden können.

Wieso ist die Weiterentwicklung der Standards notwendig?

Wie diese Grenzen gleichzeitig sehr deutlich illustrieren, müssen weiterhin neue Methoden für wirklich aufschlussreiche und gleichzeitig wirtschaftliche Untersuchungen vieler Tiergruppen entwickelt werden. Auf der einen Seite steht der Anspruch der Rechtsprechung, sehr genaue Informationen zu Art und Umfang der Betroffenheit einer Tierart durch ein Projekt zu liefern. Auf der anderen Seite steht die Notwendigkeit, dies ohne langwierige und sehr kostspielige

Grundlagenforschung zu leisten. Dabei spielt zunehmend der Einsatz automatisierter Verfahren, künstlicher Intelligenz, Fernerkundung oder Naturschutzgenetik eine bedeutende Rolle. Mit solchen Methoden lassen sich große Datenmengen erheben und vor allem auch auswerten. Dadurch kann zunehmend auf Grundlage evidenzbasierter Ergebnisse argumentiert werden und die Notwendigkeit subjektiver und in der Regel auch unsicherer Experteneinschätzungen entfällt.

Genau an dieser Stelle setzte die Intention des internationalen Expertenworkshops „Innovative Erfassungsmethoden in Umwelt- und Naturschutz für Planung, Bau und Betrieb von Infrastrukturanlagen“ vom 29. bis 30.10.2020 an, und bot viele spannende neue Ansätze.

Beispiele für bislang wenig zufriedenstellende Erfassungsmethoden gibt es viele. Oft reicht die Qualität der Informationen, die man gewinnen kann, für die geforderte Fragestellung nicht aus. So können z. B. über die Aufnahme von Fledermausrufen mit stationären oder mobilen Ultraschalldetektoren manche Arten nicht sicher nachgewiesen oder die Anzahl der Individuen, die den Untersuchungspunkt oder -raum nutzen, nicht festgestellt werden. Auch räumliche Bezüge, wie die Frage, welche Flugrouten von den Fledermäusen genutzt werden, lassen sich durch Ultraschallaufnahmen nicht hinreichend klären. Hierfür geeignete Methoden, wie die Telemetrie, bedürfen wiederum eines sehr hohen Zeitaufwands und werden daher i.d.R. nur mit wenigen Einzeltieren und über begrenzte Zeiträume durchgeführt.

Für manche Tierarten, wie den Kammmolch oder die Schlingnatter, ist selbst der Nachweis, ob die Art in einem Untersuchungsgebiet vorkommt, mit den herkömmlichen Methoden schwierig bzw. unsicher. Die wichtige Frage für den europäischen Arten- und Gebietschutz ist, wie der Erhaltungszustand einer Population einzuschätzen ist und wie empfindlich sie demzufolge gegenüber weiteren Verlusten von Habitatfläche oder Individuen ist. Diese Frage lässt sich für die wenigsten Tierarten mit bisherigen Standardmethoden befriedigend beantworten. So wird z. B. der Bestand selbst von vermeintlich leicht nachzuweisenden Arten wie der Zauneidechse häufig deutlich unterschätzt.

Wie können die aktuellen Standards weiterentwickelt werden?

Insbesondere solche Methoden sind für zukünftige Standards von besonderem Interesse, die

- a) mit weniger Aufwand (v.a. für die bei manchen Tiergruppen knappe Ressource des Spezialisten) größere Datenmengen erheben und auswerten lassen,
- b) die eine höhere Nachweissicherheit erlauben oder
- c) zusätzliche Informationen zur Struktur einer Population liefern.

Diese Kriterien erfüllen viele der vorgestellten Methoden, v.a. aus dem Bereich des automatisierten Monitorings und der Naturschutzgenetik.

Mit Methoden der Naturschutzgenetik (vgl. Beiträge in diesem Heft von L. Adler, K. Hengst, F. Hofmann, P. Holm, C. Wallinger) lässt sich beispielsweise der Untersuchungsaufwand reduzieren oder es lassen sich zusätzliche Erkenntnisse gewinnen. So verspricht z. B. die Nutzung der Umwelt-DNA (eDNA), also die Analyse von DNA-Spuren in Umweltmedien wie Wasser oder Bodensubstrat, eine höhere Nachweissicherheit für manche schwer erfassbare Arten wie den Kammmolch, die Knoblauchkröte oder die Schlingnatter. Über das Metabarcoding bzw. die Metagenomik ((Holderegger & Segelbacher 2016): „Analyse von Proben, die DNA von mehr als nur einer Art enthalten“) von Umweltmedien oder von Mischproben z. B. von Insekten und Spinnentieren kann der Aufwand für die Bestimmung von ganzen Artenspektren in einem Untersuchungsgebiet deutlich gesenkt werden. Dies ist gerade im Hinblick auf die Biodiversität interessant, deren Berücksichtigung zunehmend an Bedeutung gewinnt. Die genetische Ana-

lyse von Haar- oder Kotproben bestimmter Individuen wiederum erbringt gegenüber herkömmlichen Erfassungen zusätzliche planungsrelevante Informationen zur untersuchten Population, wie z. B. Individuenzahl, Isolationsgrad oder genetische Vielfalt. Damit könnte sie sich als Standard z. B. bei stark gefährdeten Arten oder sehr umfangreichen Eingriffen in Populationen etablieren.

Kostengünstige automatisierte Erfassung und Bestimmung von Vögeln oder Fledermäusen, wie z.B. über passives akustisches Monitoring (vgl. Beitrag H. Reers) oder die automatisierte Telemetrie (vgl. Beitrag S. Ripperger), lassen sich in großer Zahl einsetzen. Sie bieten so die Möglichkeit, sowohl lange Zeiträume zu überwachen als auch die Bedeutung verschiedener Bereiche für die untersuchten Arten in einem Habitat mit statistischen Methoden zu vergleichen. Damit könnten kleinräumige Unterschiede oder zeitliche Veränderungen, wie z. B. in Folge von lebensraumverbessernden Maßnahmen, herausgearbeitet werden. Als Standard könnten sich solche Methoden anbieten, wenn es z. B. um die Identifikation von Kollisionshotspots geht oder im Monitoring im Rahmen eines Risikomanagements. Für viele artenschutzrechtliche Fragestellungen wäre insbesondere die automatisierte Aufzeichnung von Bewegungsmustern einer großen Anzahl an Individuen in einem Untersuchungsraum von besonderem Wert. Sie geben Aufschluss über das räumliche Verhalten der Tiere und helfen, Kollision oder Trennungseffekte auf Tierpopulationen zu vermeiden.

Wie können neue Methoden in die Standards integriert werden?

Die meisten vorgestellten Methoden zeigten Potenzial zur Reduktion des Untersuchungsaufwandes, zur Verbesserung der Nachweissicherheit oder zur Erhöhung der planungsrelevanten Informationsdichte. Daher müssen sie bei einer Fortschreibung der faunistischen Erfassungsstandards mit Sicherheit in den Blick genommen werden. Einen wertvollen Beitrag hierfür leistet der geplante Forschungsbericht zu den innovativen technikbasierten Erfassungsmethoden (vgl. Beitrag F. Ortlieb). Er soll Steckbriefe enthalten, die Auskunft über wichtige Grundlagen der einzelnen Methoden, wie z.B. Kosten, Aufwand, Erkenntnisgewinn etc. geben. Gerade diese Aspekte entscheiden darüber, ob eine Methode tatsächlich als Standard für den Regelfall zum Einsatz kommen kann, oder ob sie eher das Mittel der Wahl für besondere Problemfälle darstellt.

Der fortgeschrittene Entwicklungsstand von Wissenschaft und Technik lässt also eine klare Empfehlung zu, die Erfassungsstandards für faunistische Untersuchungen von Albrecht et al. (2015) in naher Zukunft fortzuschreiben.

Literatur

Albrecht, K., Hör, T., Henning, F. W., Töpfer-Hofmann, G. & Grünfelder, C. (2015): *Leistungsbeschreibungen für faunistische Untersuchungen - FE 02.0332/2011/LRB* (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Ed.) *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*. Bremen: Fachverlag NW im Carl Schünemannverlag.

BMVI (2021): *Handbuch für die Vergabe und Ausführung von freiberuflichen Leistungen im Straßen- und Brückenbau (HVA F-StB)*.
<https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/StB/allgemeines-rundschreiben-strassenbau-11-2021-richtlinientext.html>

Holderegger, R. & Segelbacher, G. (2016): *Naturschutzgenetik. Ein Handbuch für die Praxis* (1. Auflage.). Bern: Haupt.

GEFÖRDERT VOM



BlueGreenStreets

Elemente einer wassersensiblen und hitzeangepassten Straßenraumgestaltung

FGSV Online-Expertenworkshop 30.10.2020

Dr. Carlo Becker | bgmr Landschaftsarchitekten GmbH, Berlin
Tomke Voß | Hafencity Universität, Hamburg



BGS, bgmr Landschaftsarchitekten



Projektpartner

Blue Green Streets

• Verbundpartner



• Kommunale Partner (derzeit)

Hamburg

- ❖ Behörde für Umwelt und Energie
- ❖ Bezirksamt Harburg, Eimsbüttel, Altona
- ❖ LSBG-Hamburg
- ❖ Hamburg Wasser

Berlin

- ❖ Berliner Wasserbetriebe
- ❖ Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz

Neuenhagen bei Berlin

- ❖ Bauamt, Neuenhagen bei Berlin

Solingen

- ❖ Technische Betriebe, Solingen

Bremen und Bochum



Herausforderung Klimawandel

Berlin vor 20.000 Jahren: Durchschnitttemperatur 5° weniger als heute



bgmr Landschaftsarchitekten

bgmr. Landschafts
architekten

hcu HafenCity
Universität
Hamburg

Herausforderung Klimawandel

Berlin 2100: 2°Plus



bgmr Landschaftsarchitekten

bgmr. Landschafts
architekten

hcu HafenCity
Universität
Hamburg

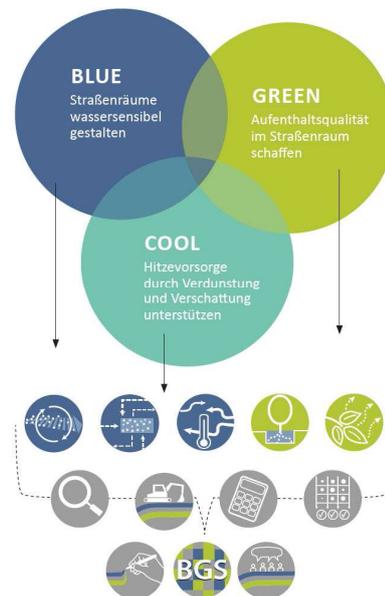
Wie können Bestandsstraßen zukünftig klimaangepasster gestaltet werden?

Wassersensible Straßenraumgestaltung
Wasser als Ressource, statt ableiten nutzen!

Hitzevorsorge in der Straßenraumgestaltung
statt Hitzeband ein Kühlraum

Straße als Aufenthaltsort
ein Wohlfühlraum

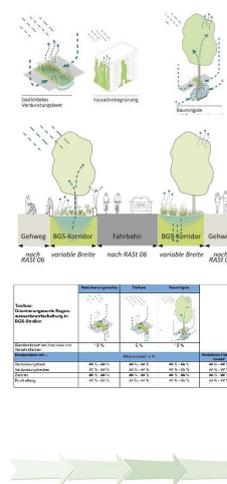
→ **Entwicklung einer Toolbox für BGS-Straßen**



BGS, bgmr Landschaftsarchitekten

Inhalte der Toolbox

- BGS-Entwurfselemente
- BGS-Beispielquerschnitte als Empfehlungen für typische Entwurfssituationen (Wohn-, Sammel-, Quartiers-, örtliche Geschäfts-, Hauptgeschäfts- und Verbindungsstraße)
- Orientierungswerte für den Flächenbedarf von BGS-Elementen
- Empfehlungen für den Prozessablauf von multicodierten Straßenraumentwürfen



BGS, HCU, bgmr Landschaftsarchitekten

Methodik: Research by Design

Entwicklung der Toolbox im Praxistest in Zusammenarbeit mit Gemeinden und Städten
(Berlin, Hamburg, Bremen, Solingen, Neuenhagen)

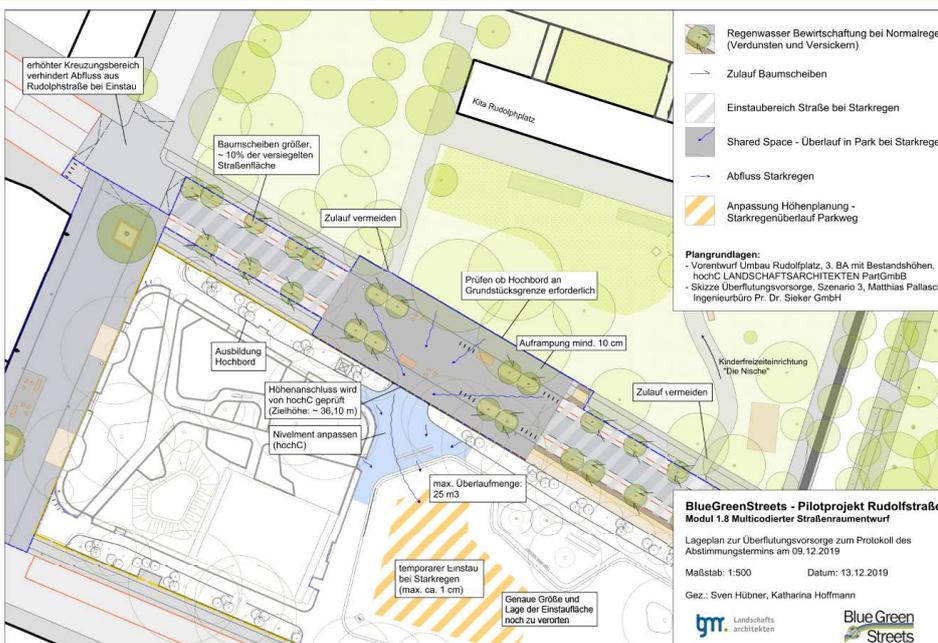
- Innovation erfordert Ziele!
- Ziele müssen vereinbart werden!
- Ziele bestimmen die Grundlagenerfassung!



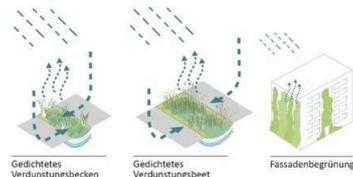
BGS, bgmr Landschaftsarchitekten



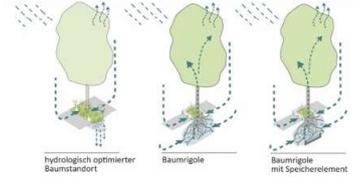
Projekte: Toolbox als Planungshilfe



Verdunstung



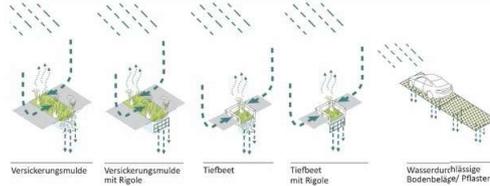
Vitale Baumstandorte



Aufenthaltsqualität



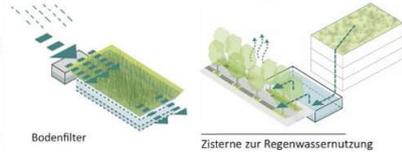
Versickerung



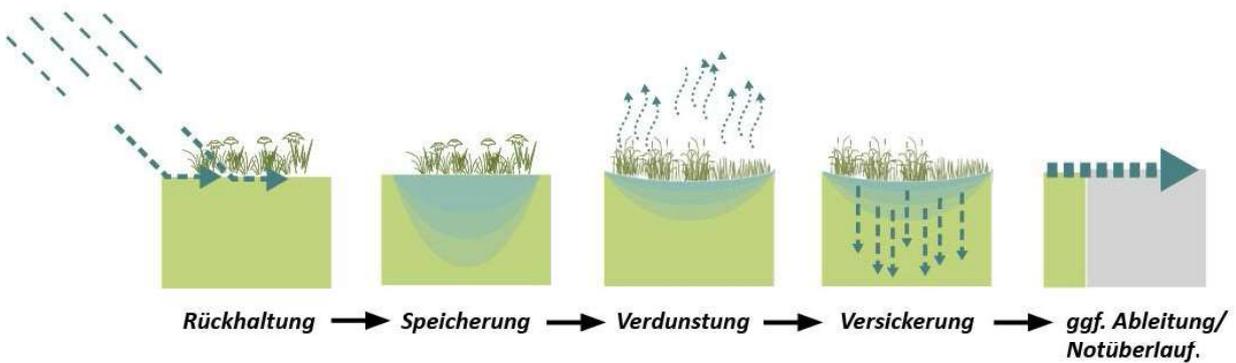
Starkregenvorsorge



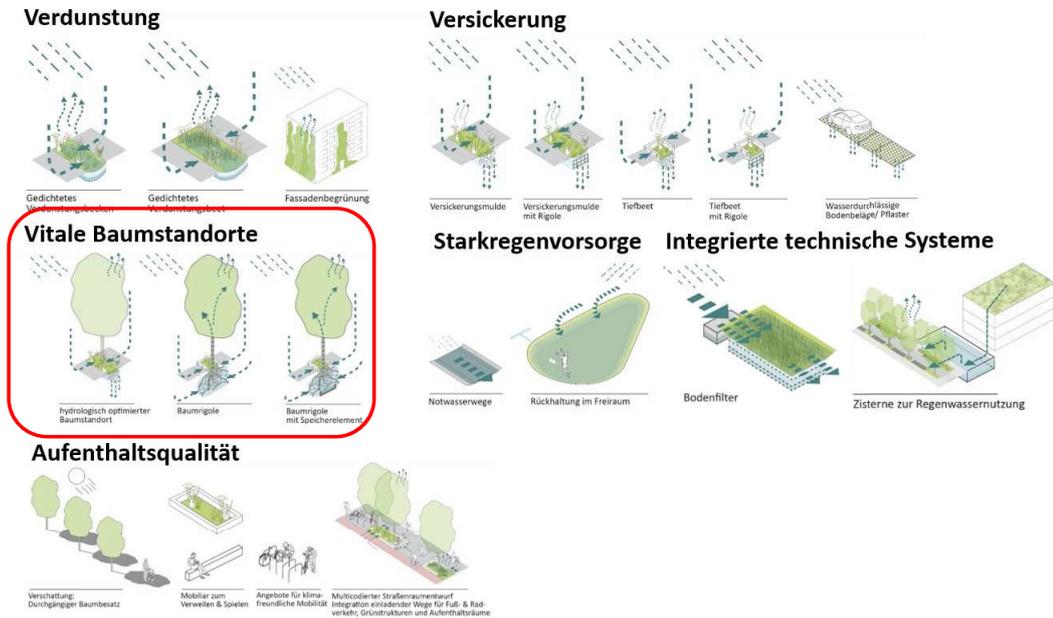
Integrierte technische Systeme



BGS, bgmr Landschaftsarchitekten



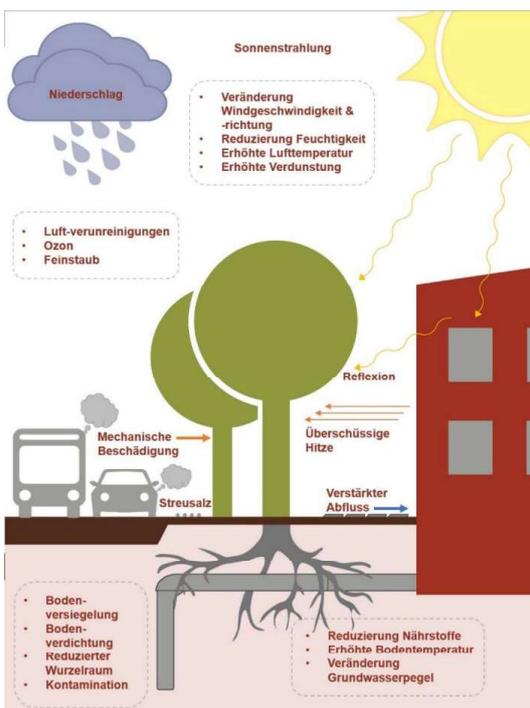
BGS, bgmr Landschaftsarchitekten



BGS, bgmr Landschaftsarchitekten



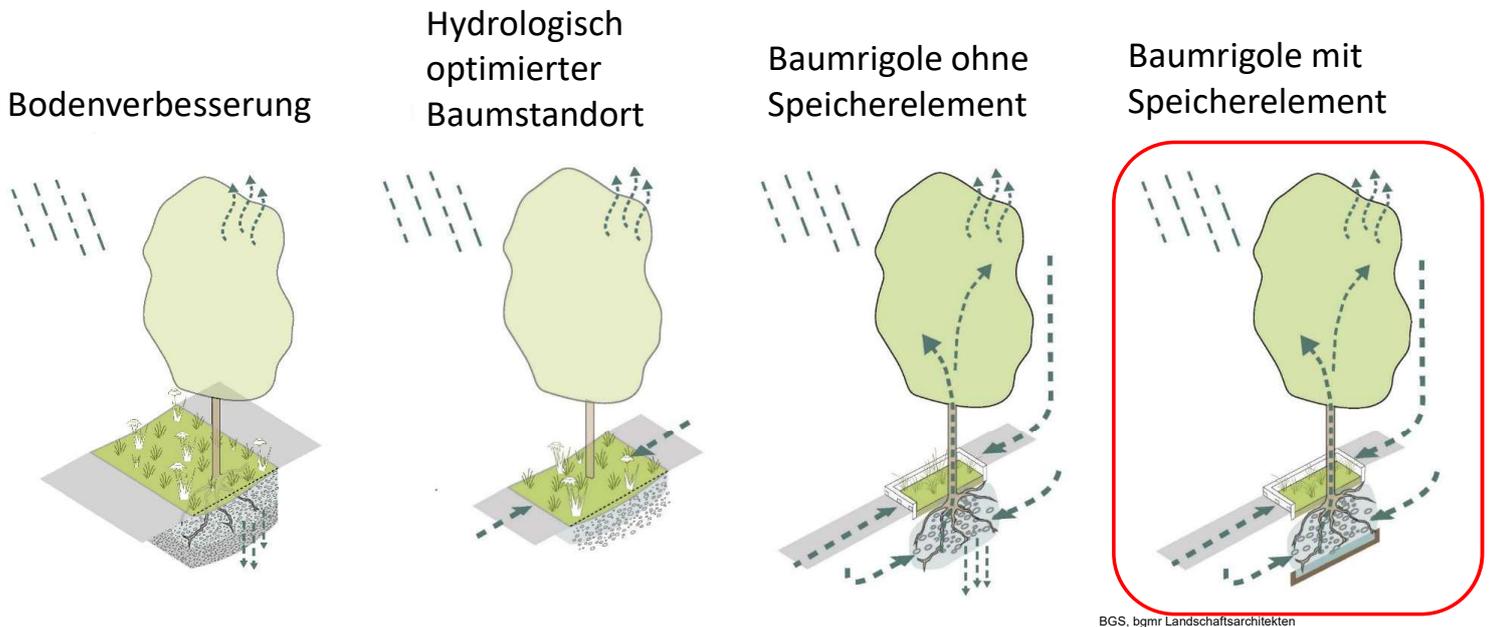
Stadtspezifische Faktoren & Maßnahmen an Baumstandorten



	Umgang mit Altbäumen	Baumartenwahl bei Neupflanzungen	Verbesserung des Standorts
Maßnahmen	Effektive Schutzmaßnahmen bei Bautätigkeiten im Umfeld von Altbäumen	Zahl der Neu- und Nachpflanzungen erhöhen	Pflanzgruben vergrößern: Wurzelraum sollte etwa so groß sein wie die Krone des ausgewachsenen Baumes; 1,5 m tief, 12 m ³ Volumen; -Baumscheibe mind. 6 m ² (gemäß FLL 2015)
		Auswahl klimarobuster Baumarten und -sorten (siehe Zukunftsbaumliste)	Ggf. Wurzelgräben anlegen
		Artenreiche Pflanzungen	Bodensubstrate mit guter Luft-, Wasser- und Nährstoffversorgung auswählen
			Verbesserung der Wasserversorgung durch Regenwasserzufuhr prüfen
	Zusammenarbeit von Verkehrsplanung und Landschaftsplanung in Straßenplanungsverfahren		
	Sensibilisierung von Verkehrs- und Tiefbauern für den Schutz der Stadtbäume		
	Monitoring und begleitende Untersuchung zur Prüfung der Effektivität der Maßnahmen im Zusammenhang mit Krankheiten und Schädlingen, Entwicklung von Abwehrstrategien und deren Berücksichtigung in der fortlaufenden Baumpflege		

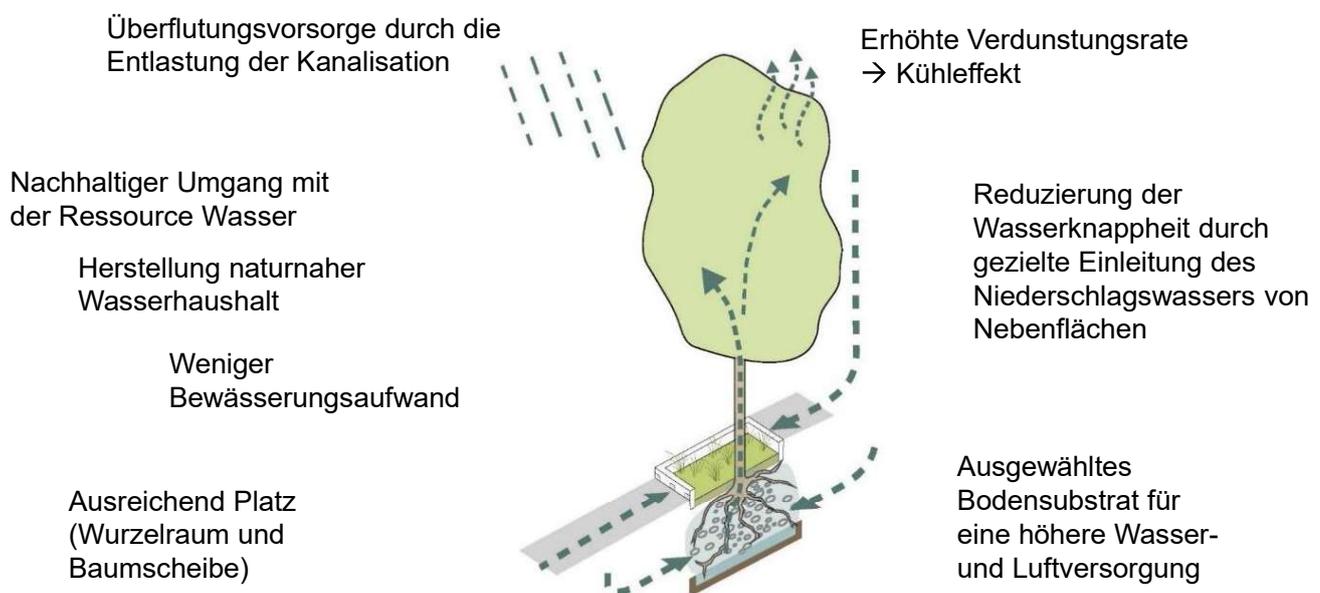
Aus Dickhaut & Eschenbach (Hrsg.) 2019 - Entwicklungskonzept Stadtbäume





BGS, bgmr Landschaftsarchitekten

Baumrigole mit Speicherelement



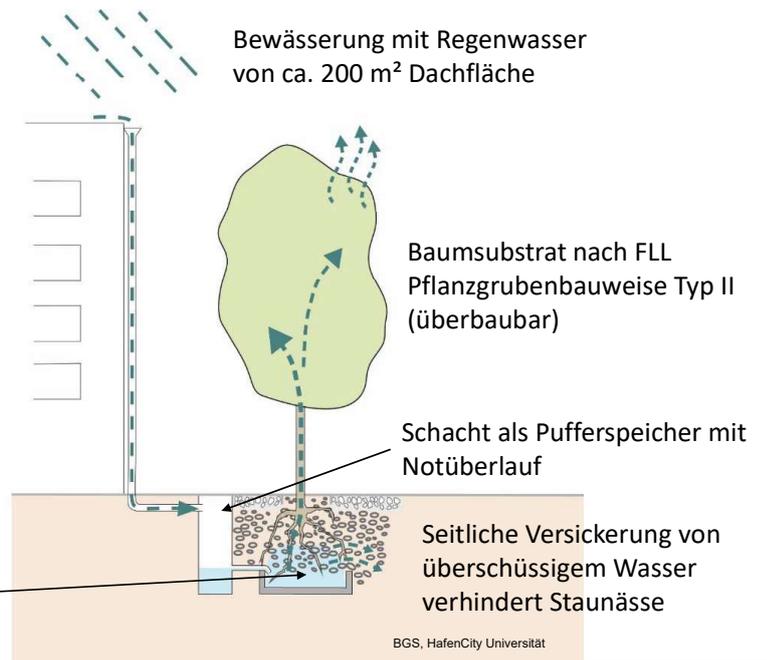
BGS, bgmr Landschaftsarchitekten

Baumrigole mit Speicherelement – Hamburg-Harburg



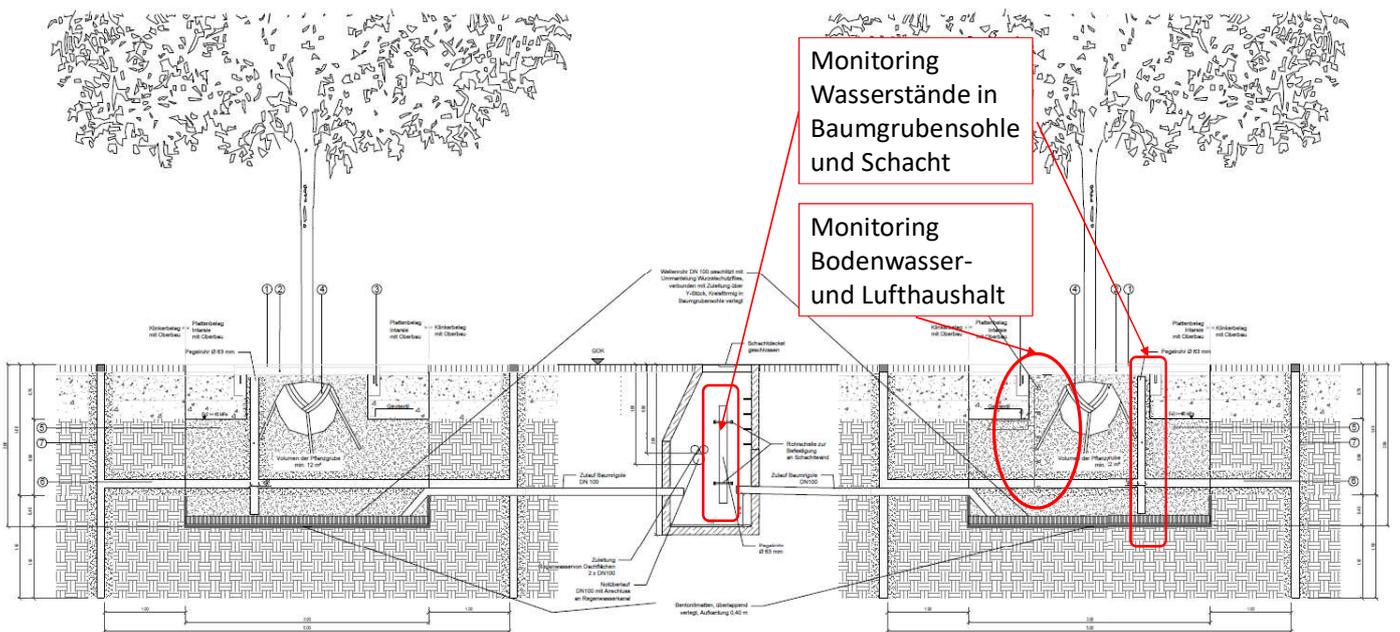
© Wolfgang Dickhaut

Wasserreservoir unterhalb der Baumgrube ca. 1.000 l



BGS, HafenCity Universität

Baumrigole mit Speicherelement – Hamburg-Harburg



Zeichnung verändert nach arbos freiraumplanung GmbH

Bau der Baumrigolen



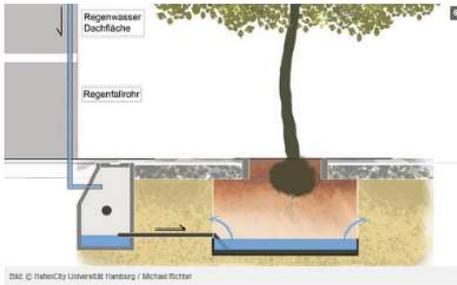
BGS, HCU, Richter

Bau der Baumrigolen



Bundespreis Stadtgrün 2020 Projekt „Multifunktionale Klima-Baumstandorte“ ausgezeichnet

Die Abteilung Stadtgrün des Bezirksamtes Harburg ist für das Projekt „Multifunktionale Klima-Baumstandorte“ in der Kategorie Gepflegt mit einem Preis ausgezeichnet worden.



Die „multifunktionalen Klima-Baumstandorte“ in der Hölertwiete in Harburg sind das Ergebnis eines Planungsprozesses unter der Zusammenarbeit der Abteilung Stadtgrün des Bezirksamtes Harburg, der HafenCity Universität Hamburg (HCU) und der Universität Hamburg (UH). Unter den genannten Herausforderungen war es das Ziel, technische Lösungen zur Vergrößerung des Wasserspeichervolumens der Pflanzgruben und gleichzeitig zur Verbesserung der Vitalität und Wasserverfügbarkeit für Bäume in Trockenzeiten zu finden. Bei den im März 2020 neu gebauten Baumgruben werden neben der Erfassung des Unterhaltungsaufwands auch ein Monitoring des Wasser- und Bodenlufthaushalts betrieben um die Funktionalität hinsichtlich Regenwasserverickerung und Raumvitalität zu bewerten. Das Projekt wurde mit Mitteln aus dem Rahmenprogramm integrierte Stadtentwicklung (RISE) und Mitteln der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft (BLUKEA) ...

HARBURG STADT & LAND ARBURG · SÜDERELBE · SEEVETAL · B

Baumprojekt gewinnt Bundespreis

Um Straßenbäume gegen zunehmende Dürreperioden zu schützen, testen Bezirk und Forscher auf der Hölertwiete Pflanzungen mit Wasserspeichern

UNTERSCHIEDLICHE Bäume haben in unterschiedlichen Dürreperioden unterschiedliche Bedürfnisse, was aber durch lang andauernde Trockenzeiten, wie sie in der Hölertwiete seit mehreren Jahren zu sehen sind, zu Problemen führt. Um die Vitalität der Bäume zu erhöhen, haben die Mitarbeiter der Abteilung Stadtgrün, Regenwasser speichernde Pflanzgruben entwickelt, die die Wasserreserven der Bäume erhöhen und so die Überlebensfähigkeit in Trockenzeiten erhöhen. Über 20 Bäume, aus Wäldern und Baumschulen der G...



Die Hölertwiete in Harburg ist ein Projekt der Abteilung Stadtgrün des Bezirksamtes Harburg. Es handelt sich um ein Pilotprojekt zur Verbesserung der Wasser- und Bodenlufthaushalts in der Hölertwiete. Die Bäume sind in Pflanzgruben mit Wasserspeichern gepflanzt worden. Das Projekt wurde mit Mitteln aus dem Rahmenprogramm integrierte Stadtentwicklung (RISE) und Mitteln der Behörde für Umwelt, Klima, Energie und Agrarwirtschaft (BLUKEA) ...



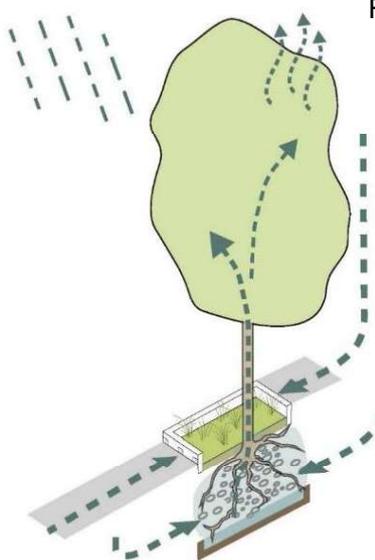
Lessons Learned- Baumrigole Hölertwiete

Dimensionierung und Nachweis der Entwässerungsanlage

Genehmigung Versickerungsanlage

Baumauswahl angepasst an die Standortbedingungen

Organisation von Unterhaltung und Betrieb



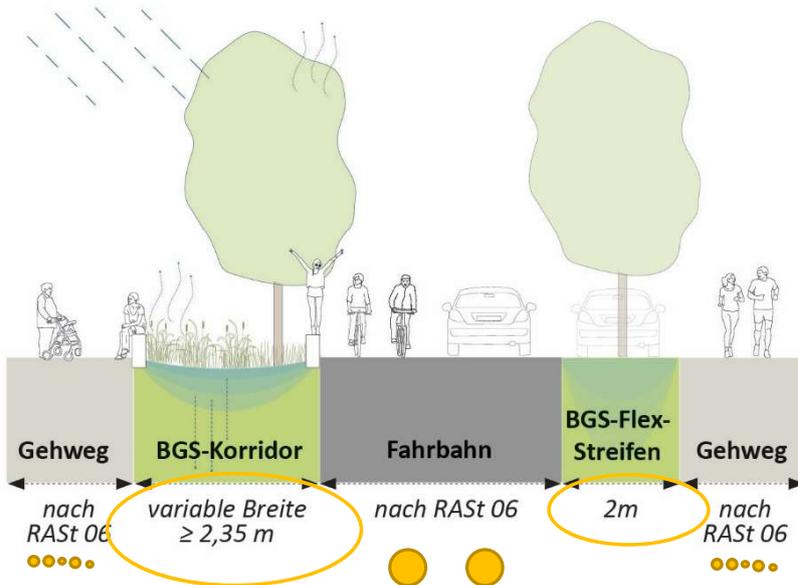
Flächenkonkurrenz

Abkopplungspotential in angrenzenden Flächen

Frühzeitige Einbindung von Stakeholdern

Schadstoffbelastung vom Niederschlagswasser

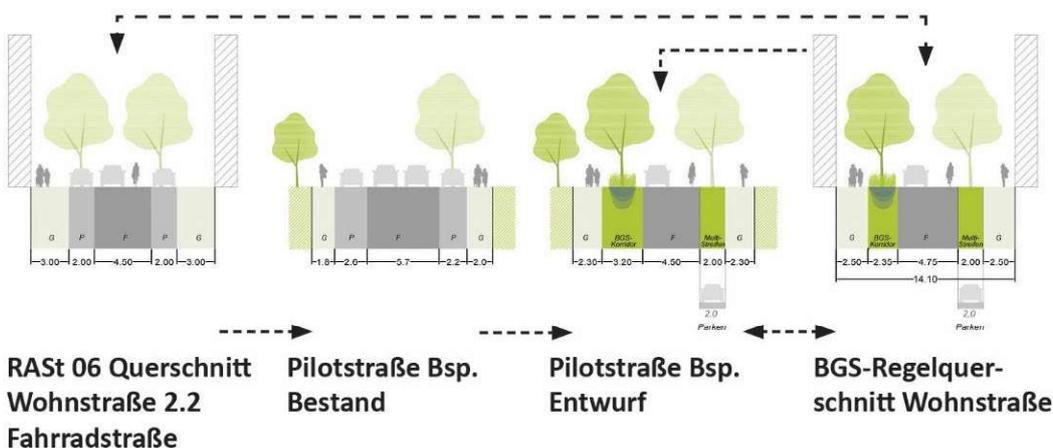
Umgang mit Leitungsbestand



BGS, bgmr Landschaftsarchitekten

BGS-Beispielquerschnitte - Prozess

- Evolvierender Entwurfsprozess
- Gegebenheiten in den Pilotstraßen und Entwicklung der Beispielquerschnitte



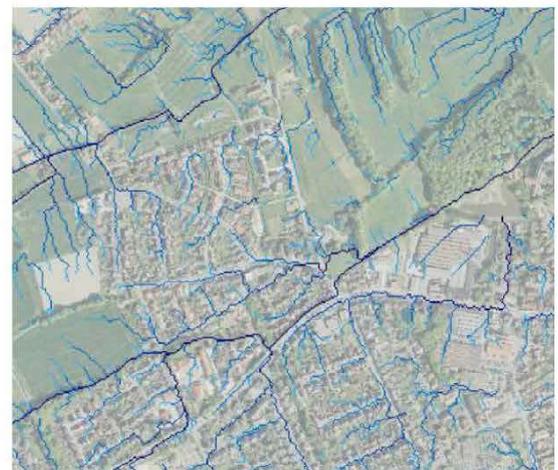
Konklusion

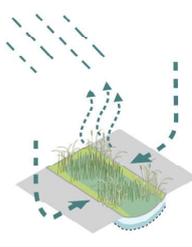
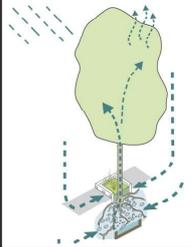
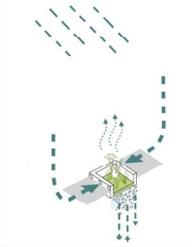
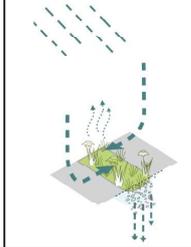
Eine wassersensible Straßengestaltung benötigt eine Grundlagenerfassung, die Fragen aufwirft, die bei einer Kanalentwässerung keine bedeutende Rolle gespielt hat, z.B.

- Verkehrsmengen → Belastungen des Regenwassers
- Regenwasser → Qualität (Zulässigkeit der dezentralen Bewirtschaftung)
→ Quantität (Menge des Regenwassers)
- Bodenbeschaffenheit → Versickerungsfähigkeit (kf-Wert), Flurwasserabstand,
→ Altlasten (Kosten)
- Leitungsbestand → die DIN 1998 - Unterbringung von Leitungen und
Anlagen im öffentlichen Verkehrsflächen kennt keinen
BGS-Korridor!
- Starkregen → Fließwege, Notwasserwege, Retentionspotentiale

→ Eine vereinbarte BlueGreenStreets-Zielsetzung bestimmt die Erfassungsfragen!

Beispiel Fließwegekarte als Planungsgrundlage



	Verdunstungsbeet	Baumrigole	Tiefbeet	Versickerungsmulde
Toolbox: Orientierungswerte Regenwasserbewirtschaftung in BGS-Straßen				
Standardbedarf bei Anschluss von Verkehrsflächen	30 %	15 %	9 %	15 %
in Kombination mit ...	Flächenbedarf in %			
Verdunstungsbeet	-	# % - # %	# % - # %	# % - # %
Baumrigole	# % - # %	-	# % - # %	# % - # %
Tiefbeet	# % - # %	# % - # %	-	# % - # %
Versickerungsmulde	# % - # %	# % - # %	# % - # %	-
Rigole	# % - # %	-	# % - # %	# % - # %
Zisterne	# % - # %	# % - # %	# % - # %	# % - # %

BGS, bgmr

BlueGreenStreets- Grundlagenerfassung Hitze

Konklusion

Eine wassersensible und hitzeangepasste Straßengestaltung benötigt eine Projektion, um Notwendigkeit und Wirkung von Maßnahmen der Klimaanpassung beurteilen zu können.

→ Einschätzung der Bedarfe/Dringlichkeit der Hitzevorsorge

→ Eine prognostizierte Erfassung der Wirkung von Maßnahmen der Klimaanpassung im Straßenraum (Variantenvergleiche im Rahmen der Vorplanung)

→ Vereinbarte BlueGreenStreets-Zielsetzungen bestimmt die Erfassungsfragen?



Allgemein benötigte Eingangsdaten:

- Gebäudegeometrie
- Oberflächenversiegelung
- Vegetationsinformation



BGS, GeoNet, Simulation Königsstraße

Mikroklimatische Simulation

Typische Indikatorwerte (Auswahl)

Oberflächentemperatur

Tagesmitteltemperaturen

Thermisches Wohlbefinden anhand eines humanbiologischen Indizes (z.B. UTCI, PET)

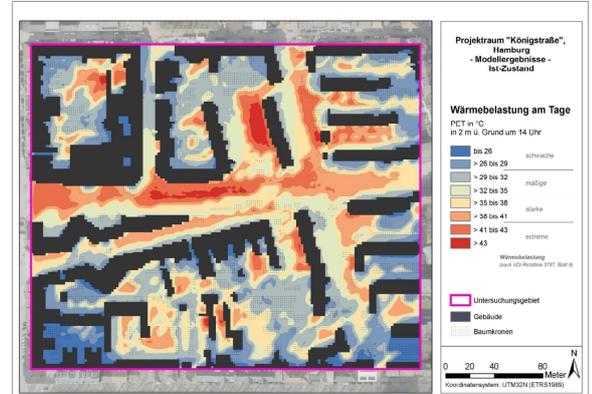
Anwendung eines mikroskaligen 3D-Modells:

ASMUS_green

(Ausbreitungs- und Strömungsmodell für urbane Strukturen + grüne Oberflächen)

- Verwendung der meteorologischen Grundgleichungen,
- Energiebilanz für Oberflächen
- horizontale Gitterauflösung: 1 - 8 m, Modellgebietsgröße: bis 6 km²
- Antrieb mit Stationsdaten oder Witterungsszenario

zur Beurteilung von Entwurfsvarianten



BGS, GeoNet

BlueGreenStreets- Grundlagenerfassung

Konklusion

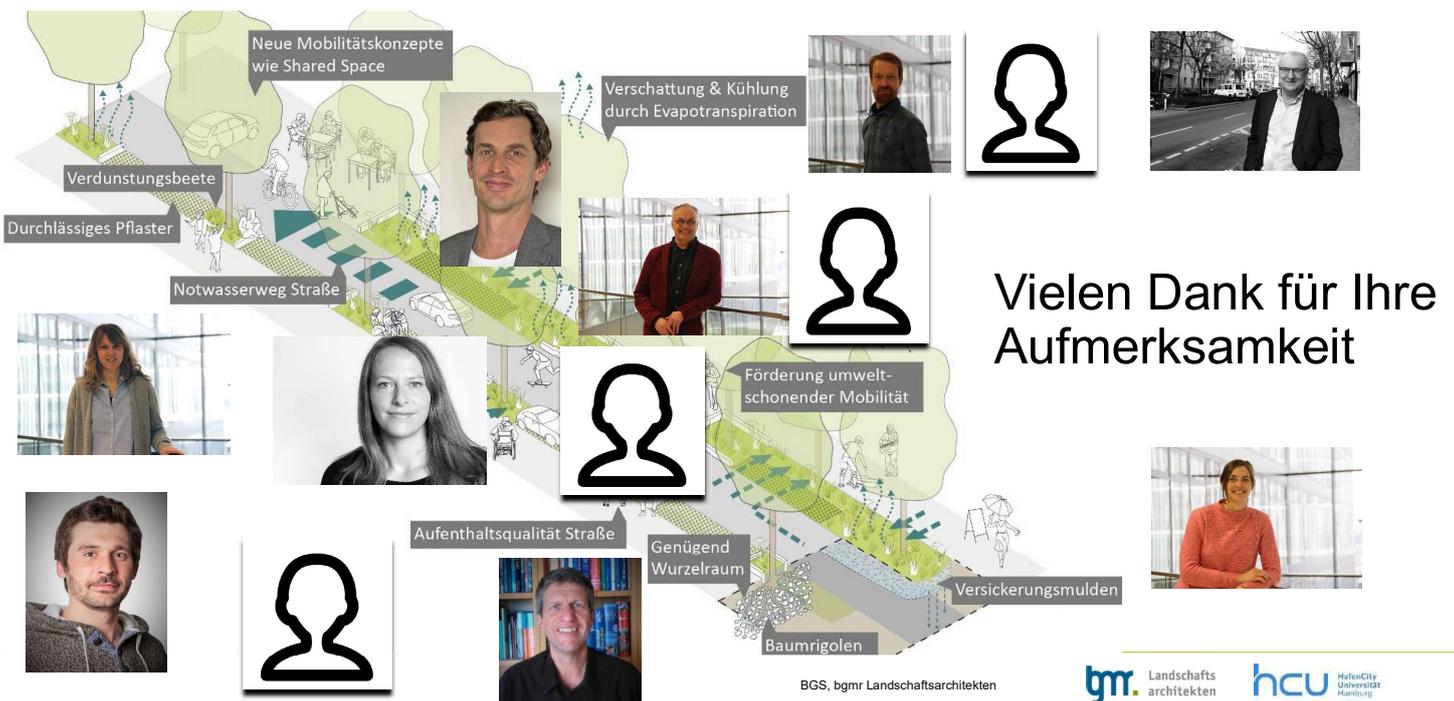
Neue Ziele erfordern neue

- Grundlagenerfassung
- Innovationsfreunde
- Risikoabsicherung
- Nachbesserungsmöglichkeiten „Aus Erfahrung lernen!“

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Dickhaut
 HafenCity Universität Hamburg (HCU)
 "Umweltgerechte Stadt- und
 Infrastrukturplanung ..
 Tel. 040-42827-5095 (d.)
 Fax 040-42827-5599
wolfgang.dickhaut@hcu-hamburg.de
www.hcu-hamburg.de/bluegreenstreets



Dr.-Ing. Carlo W. Becker
 bgmr Landschaftsarchitekten
 GmbH
 Tel. (030) 214 59 59-13
 Fax (030) 214 59 59-59
Becker@bgmr.de
www.hcu-hamburg.de/bluegreenstreets

Neue Mobilitätskonzepte wie Shared Space
 Verdunstungsbeete
 Durchlässiges Pflaster
 Notwasserweg Straße
 Verschattung & Kühlung durch Evapotranspiration
 Förderung umweltschonender Mobilität
 Aufenthaltsqualität Straße
 Genügend Wurzelraum
 Baumrigolen
 Versickerungsmulden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

BGS, bgmr Landschaftsarchitekten

bgmr. Landschaftsarchitekten hcu HafenCity Universität Hamburg

Innovativer Lärmschutz an Straßen

- Lärmreduzierungsplatten für den Straßenrand

Wolfram Bartolomaeus

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	<i>Vorüberlegungen</i>	2
2	Klassifikation der Maßnahmen	3
3	Maßnahmen zur Beeinflussung oder Minderung der Geräuschemission	3
3.1	<i>In Deutschland umgesetzt, aber nicht berücksichtigt</i>	3
3.1.1	Aktive Maßnahmen an der Quelle, Verkehr.....	4
3.1.2	Aktive Maßnahmen an der Quelle, Straße.....	4
3.1.3	Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Wand	4
3.1.4	Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Wall.....	5
3.1.5	Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Tunnel, Galerien.....	5
3.2	<i>Im Ausland umgesetzt, aber in Deutschland noch nicht berücksichtigt</i>	6
3.2.1	Aktive Maßnahmen an der Quelle, Straße.....	6
3.2.2	Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Wand	6
3.2.3	Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, flache Strukturen	7
3.2.4	Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Vegetation.....	7
3.2.5	Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Städtischer Straßenraum.....	8
3.3	<i>Noch nie großmaßstäblich gebaut</i>	8
3.3.1	Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Wand	8
3.3.2	Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Wall.....	8
3.3.3	Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Städtischer Straßenraum.....	8
4	Literaturverzeichnis	9

1 Einleitung

„Lärmreduzierungsplatten für den Straßenrand“ sind nur eine von vielen möglichen Maßnahmen für den „Innovativen Lärmschutz an Straßen“. Im Folgenden sollen weitere innovative Maßnahmen beschrieben werden.

1.1 Vorüberlegungen

Der aktive Lärmschutz an Straßen sieht nach den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS) neben der Berücksichtigung von lärmindernden Fahrbahnbelägen zwei Wege zur Beeinflussung der Geräuschimmission vor:

- Zum einen wird eine Ausbreitungsdämpfung inkl. Boden- und Meteorologiedämpfung zwischen Emissions- und Immissionsort aufgrund der Entfernung angenommen. Sieht man von der Dämpfung durch Bewuchs nach DIN 9613-2 ab, so ist diese Maßnahme nur bei der Planung von Straßen und Wohngebieten im Rahmen der Raumnutzung zu berücksichtigen.
- Zum anderen kann eine Abschirmung durch Lärmschutzwände oder -wälle sowohl bei der Planung als auch zu einem späteren Zeitpunkt berücksichtigt werden. Von den Eigenschaften der Abschirmeinrichtungen werden in den RLS nur die Lage der (horizontalen) Beugungskante sowie bei Wänden die Absorptionseigenschaften verwendet.

Von der Berücksichtigung der Dämpfung durch Bewuchs nach DIN 9613-2 ist bisher abgesehen worden, da bei dem Bewuchs, meist Wald, nicht garantiert werden kann, dass er Bestand hat. Die Dämpfung durch Bewuchs liegt nach DIN 9613-2 zwischen einem und mehreren dB, je nach Länge des Schallstrahls im Bewuchs. Die Dämpfung wird ab ca. 10 bis 20 m Breite wirksam.

Bei Wällen werden in den RLS die absorbierenden Eigenschaften des Wallmaterials nicht berücksichtigt. Diese können zu einer zusätzlichen Dämpfung von bis zu 7 dB führen. Ebenso wird der evtl. vorhandenen Bewuchs des Walls nicht berücksichtigt. Durch die weit von der Emissionslinie (Straße) entfernt liegende Beugungskante wird daher für Wälle im Vergleich zu gleich hohen Wänden eine deutlich niedrigere Einfügedämpfung berechnet.

Bei Lärmschutzwänden wird die Absorption des Materials nur bei der Minderung der Schallreflexion berücksichtigt, nicht jedoch bei der Schallausbreitung über die Wand. Ebenso wenig wird auch die Form der horizontalen Beugungskante(n) der Wände berücksichtigt. Gekrümmte Lärmschutzwände, deren Beugungskante in Richtung der Emissionslinie (vom Immissionsort aus betrachtet) oder sogar jenseits davon liegen, können nicht adäquat beschrieben werden. Mehrere Beugungskanten und andere Modifikationen (Helmholtz-Resonatoren) finden ebenso wenig Berücksichtigung wie neuartige (Meta-)Materialien (Sonic Crystals). In diesem Zusammenhang ist auch die Frage nach einer notwendigen Mindestschalldämmung zu stellen.

2 Klassifikation der Maßnahmen

Zunächst lassen sich die Maßnahmen zur Lärminderung in aktive und passive Maßnahmen einteilen. Der aktive Lärmschutz umfasst Maßnahmen hinsichtlich der Emission (Quelle) und der Schallausbreitung (z. B. Schirmung). Passive Maßnahmen sind hingegen solche am Immissionsort.

Passive Maßnahmen sollen nicht weiter betrachtet werden, da sie keinen innovativen Charakter im Sinne des Lärmschutzes besitzen. Sie sind auch nur in Ausnahmefällen anwendbar, wenn die aktiven Maßnahmen nicht durchführbar sind oder die Kosten außer Verhältnis zum Lärmschutz stehen.

Bei den aktiven Maßnahmen lassen sich wiederum Maßnahmen an der Quelle und solche im Ausbreitungsweg des Schalls unterscheiden. Grundsätzlich soll der Schall direkt an der Quelle gemindert werden, da diese Art der Lärmbekämpfung die effizienteste ist und vor allem auch flächenhaft wirkt.

Bei Maßnahmen an der Quelle muss zunächst das Fahrzeug selbst mit seinen Reifen genannt werden. Aber auch der Verkehr, die Menge der beteiligten Fahrzeuge mit ihren Geschwindigkeiten beeinflussen den Straßenverkehrslärm maßgeblich. Die Straßenoberfläche – als Gegenspieler zum Reifen – kann durch eine entsprechende Texturierung bzw. durch ein gewisses Absorptionsvermögen lärmtechnisch optimiert werden.

Sind die Mittel zur Lärmreduktion an der Quelle weitestgehend ausgeschöpft, so bleibt nur die Lärminderung bei der Ausbreitung. Planerische Maßnahmen wie eine optimierte Trassenführung sind hier nicht aufgeführt, da sie nicht als innovativ gelten können. Die klassische Dämpfung des Schalls im Ausbreitungsweg geschieht durch Schirmung mit Wänden, Wällen, Galerien und Tunneln. Diese Bauwerke können durch Modifikationen (Aufsatz, Sonic Crystal) noch optimiert werden. Daneben sind aber auch Pegelminderung bei der Schallausbreitung durch flache Strukturen am Boden oder Bewuchs möglich. Im städtischen Straßenraum können Modifikationen von Fassenden (reflektierend oder absorbierend) pegelmindernd wirken.

3 Maßnahmen zur Beeinflussung oder Minderung der Geräuschmission

3.1 In Deutschland umgesetzt, aber nicht berücksichtigt

Aktive Maßnahmen am Fahrzeug sollen hier nicht berücksichtigt werden. Es sind Maßnahmen an Fahrzeugen oder Reifen notwendig, die nicht im Rahmen der RLS umgesetzt werden können.

(Höchst-)Geschwindigkeit und Verkehrsmengen werden in der RLS bereits berücksichtigt. Die Gleichmäßigkeit der Geschwindigkeit, d. h. die Geschwindigkeitsverteilung, wird aber nicht berücksichtigt. Diese hat aber ebenfalls einen Einfluss auf die Geräuschemission.

3.1.1 Aktive Maßnahmen an der Quelle, Verkehr

Hierzu wurde ein Projekt unter dem Titel "Zusammenhang reduzierter Geräuschgrenzwerte mit den in-use-Geräuschemissionen bei unterschiedlichen Verkehrssituationen" durchgeführt und vor kurzem angeschlossen [34].

3.1.2 Aktive Maßnahmen an der Quelle, Straße

In [14] wurden an Messstrecken aus AC 8, SMA 8, SMA/LA 8, DSK 5, DSH-V 5 und PMA 5 Kenngrößen der Textur, des Strömungswiderstandes, des Schallabsorptionsgrades und der Geräuschemission bestimmt. Gegenüber dem Referenzbelag aus nicht geriffeltem Gussasphalt ergaben sich so Pegelreduktionen um typischerweise 2 bis 4 dB(A) in einem Ausnahmefall auch von über 6 dB(A). Die Ergebnisse decken sich im Wesentlichen mit den Aussagen aus [15]. Eine in [14] geschilderte Nachrechnung der Geräuschemissionen mit dem SPERoN-Modell¹ war nur z. T. erfolgreich. Das größte Problem bei lärmarmen Dünnschichtbelägen ist deren akustische Dauerhaftigkeit [12], [13], [19], [20].

In [15] wird die Oberflächenbehandlung von Beton mit dem Grinding (Schleifen) als eine prinzipiell lärmindernde Maßnahme dargestellt. In der Praxis konnte der Nachweis dafür aber noch nicht zweifelsfrei erbracht werden.

In [16] sind die Ergebnisse von Geräuschemissionsmessungen an Offenporigem Beton mit dem Verfahren der Statistischen Vorbeifahrt dargestellt. Der Belag weist einen ca. 7 dB(A) niedrigeren Pegel verglichen mit dem Referenzbelag aus nicht geriffeltem Gussasphalt auf. Leider musste der Belag nach ca. drei Jahren wieder ausgebaut werden, da er Risse zeigte, die vermutlich durch den zu flexiblen Unterbau hervorgerufen wurden. Auf Autobahnen konnte der Offenporige Beton bis heute nicht dauerhaft eingebaut werden. Er hätte erhebliche Vorteile gegenüber dem Offenporigen Asphalt bzgl. der Anfälligkeit gegenüber Verschmutzung.

3.1.3 Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Wand

Abknickende Lärmschutzwände wirken durch eine Verschiebung der Beugungskante in Richtung Emissionslinie. Für die Berechnung ist insbesondere der Fall problematisch, bei dem die Beugungskante vom Immissionsort gesehen hinter der Emissionslinie liegt. Dieser Fall ist weder in den RLS-90 noch in der ISO 9613-2 geregelt.

Bei gekrümmten Lärmschutzwänden ist nicht klar, wie die gekrümmte Fläche hinsichtlich der Reflexion zu behandeln ist. Die Statik für solche Konstruktionen scheint aber unproblematisch zu sein [7].

Reflektierende Flächen im oberen Bereich einer Lärmschutzwand treten z. B. auf Brücken auf. Die Berechnung deren Reflexionswirkung in Verbindung mit absorbierenden Elementen ist problematisch.

¹ <https://www.muellerbbm.de/umwelt/verkehr-umwelt/speron/>

Zu diesem Themenkomplex gibt es bereits eine Untersuchung aus 2006 [1]. In dieser wurden aber nur Testaufgaben entwickelt. Eine messtechnische Überprüfung fand nicht statt. Dies soll in einem Forschungsprojekt, dass gerade in Vergabe ist, nachgeholt werden.

Die Wirkung absorbierender Lärmschutzwände auf die Schallausbreitung hinter den Wänden wurde rechnerisch und messtechnisch im Modellmaßstab überprüft [2]. Bei einer quellseitigen oder beidseitigen Bekleidung der Wand mit Absorptionsmaterial ergibt sich ein um 1 bis 3 dB höheres Abschirmmaß, falls sich der Messpunkt nicht oberhalb der Kante der Lärmschutzwand befindet. Dies gilt aber nicht für den Frequenzbereich zwischen 450 und 850 Hz, in dem eine Erhöhung des Schalldruckpegels vorliegt, die wahrscheinlich auf den reflektierenden Boden vor der Lärmschutzwand zurückzuführen ist.

Durch Kombination von Lärmschutzwand und Rückhaltesystem (Schutzplanke, Schutzwand) [7] wird die Beugungskante näher an den Emissionsort gebracht. Dies führt zu Pegelminderungen, zumindest für den ersten Fahrstreifen.

Fotovoltaik auf Lärmschutzwänden kann zu einem zusätzlichen wirtschaftlichen Nutzen der Wand führen. Die Wand ist dann aber i. d. R. reflektierend. Untersuchungen, ob diese vermieden werden kann laufen derzeit im Forschungsprojekt PVwins². Bei Beschichtung einer absorbierenden Lärmschutzwand mit TiO₂ zur Reduktion von NO_x wird die akustische Wirkung i. d. R. nicht gemindert. Die Wirksamkeit der Beschichtung in Bezug auf eine Reduktion von NO_x ist aber wg. der geringen NO_x-Konzentration an der Wand gering.

3.1.4 Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Wall

Wälle wirken durch die weit hinten liegende Beugungskante nur gering schalldämmend. Die evtl. absorbierende Wirkung der schrägen, zur Emissionslinie hin geneigten Fläche wird nicht berücksichtigt. Diese absorbierende Wirkung müsste für unterschiedliche Wetterbedingungen garantiert sein, was bei Boden und Grasland nicht der Fall ist.

Zu Wänden und Wällen gibt es eine Untersuchung aus 2003 [3]. Abweichungen der Messwerte im Vergleich zu den Berechnungen nach RLS-90 liegen für Lärmschutzwände im Bereich weniger Zehntel dB. Bei Wällen und Einschnitten können im Einzelfall Differenzen bis zu 7 dB(A) zusätzlicher Pegelminderung auftreten.

Fotovoltaik auf Lärmschutzwällen kann zu einem zusätzlichen wirtschaftlichen Nutzen der Wand führen. Reflexionen sind nicht zu befürchten. Allerdings ist die geografische Ausrichtung des Walls entscheidend für die Effizienz der Fotovoltaik.

3.1.5 Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Tunnel, Galerien

(Kulissen-)Schalldämpfer können an Straßen in Troglage, im Bereich von Tunnelportalen und -luftauslässen sowie Galerien eingesetzt werden [7]. Die Anwendung ist sehr spezifisch und von Fall zu Fall unterschiedlich.

² <https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/pvwins.html>

3.2 Im Ausland umgesetzt, aber in Deutschland noch nicht berücksichtigt

3.2.1 Aktive Maßnahmen an der Quelle, Straße

Eine Überprüfung der akustischen Eigenschaften von neuen Straßendeckschichten, wie sie z. T. im Ausland (Niederlande, Dänemark etc.) durchgeführt wird, gibt es derzeit in Deutschland nicht. Ein Verfahren zur Überprüfung der akustischen Eigenschaften von Straßendeckschichten wurde in den EU-Projekten SILVIA [28] und ROSANNE³ [29] entwickelt.

Ebenso ist eine regelmäßige Überprüfung der akustischen Eigenschaften von bestehenden Straßenoberflächen, anders als vereinzelt schon im Ausland (z. B. CPX-Messung aller Autobahnen in der Schweiz), in Deutschland nicht vorgesehen. In den EU-Projekten SILVIA [28] und ROSANNE [29] wurden auch Prozeduren für die netzweite Zustandserfassung (Monitoring) der akustischen Eigenschaften von Straßendeckschichten entwickelt.

In den EU-Projekten ITARI⁴ [30] und PERSUADE⁵ [31] wurden neuartige Belagstypen entwickelt, die vereinzelt auch auf öffentlichen Straßen eingebaut wurden. Es handelt sich um eine dichte Oberfläche mit einer rautenförmigen Oberflächenstruktur. Der Effekt auf die Geräuschemission des darauf abrollenden Reifens wurde eingehend untersucht. Im Rahmen des DeuFraKo-Projektes PR2N⁶ [32] wurde die Oberfläche mit geringem Erfolg bautechnisch ausprobiert. Die berechnete und gemessene Pegelminderung liegt in der Größenordnung von offenporigem Asphalt. Ähnlich ist es mit dem poroelastischen PERS-Belag des Projektes PERSUADE, der im Wesentlichen aus alten Reifen besteht. Dieser Belag wurde u. a. im Projekt SILENCE⁷ sowohl im Prüfstand Fahrzeug Fahrbahn (PFF) der BAST als auch auf Straßen in Schweden eingebaut. Hier gibt es vor allem Probleme mit der Verkehrssicherheit (Griffigkeit) und der Dauerhaftigkeit (Winterdienst).

3.2.2 Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Wand

Eine Überprüfung der akustischen Eigenschaften einer neuen Lärmschutzwand, wie sie z. T. im Ausland durchgeführt wird [7], gibt es derzeit in Deutschland nicht.

Ebenso ist eine regelmäßige Überprüfung der akustischen Eigenschaften (Absorption, Dämmung) von bestehenden Lärmschutzwänden [12], [13], [20], anders als vereinzelt schon im Ausland (z. B. in Belgien [7]), in Deutschland nicht vorgesehen. Dazu wurde das Forschungsprojekt „Akustische Eigenschaften alter Lärmschutzwände“ [35] durchgeführt, in dem geklärt wurde, welche Schäden an Lärmschutzwänden grundsätzlich akustisch relevant sind. Die Ergebnisse gehen in das derzeit laufende CEDR-Projekt SOPRANOISE⁸ ein.

³ <https://rosanne-project.eu/>

⁴ <https://cordis.europa.eu/project/id/506437/de>

⁵ <http://persuade.fehrl.org/>

⁶

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi7j72W0pPuAhUOCuwKHRxsBxkQFjAAegQIA-RAC&url=https%3A%2F%2Fjtav.ifsttar.fr%2Ffileadmin%2Fcontributeurs%2FJTAV%2F2006%2FJTA2006_JFH_PREDIT.pdf&usg=AOvVaw3zxtIIMyR8-VrxLTcuCBzB

⁷ <https://urbact.eu/silence-integrated-research-project-urban-noise-final-event>

⁸ <https://www.enbf.org/sopranoise/>

Im dem BASt-Projekt „Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen“ [36] ebenso wie im Projekt „Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen“ [37] wurden absorbierende Wandaufsätze eines österreichischen Herstellers untersucht.

In [21] sind Lärmschutzwände mit mehreren Beugungskanten, z. T. mit zusätzlichem Absorptionsmaterial, mit der Rand-Elemente-Methode untersucht worden. Es wurden zusätzliche Einfügedämpfungen von bis zu fast 4 dB berechnet. Einige Modelle wurden schon in situ eingesetzt und untersucht. Das sog. T-Top-Modell wird in der niederländischen Methode zur Berechnung des Straßenverkehrslärms berücksichtigt.

Die Idee, Helmholtz-Resonatoren in Verbindung mit Lärmschutzwänden zu verwenden ist schon etwas älter [22]. In [23] wurde ein Demonstrator gebaut und getestet, der speziell auf die etwas tieferen Frequenzen der Geräuschemission von LKW abgestimmt war. Es konnte eine Pegelminderung von durchschnittlich 4 dB in den Terzen unterhalb 2,5 kHz ermittelt werden. In dem Bereich des LKW-Lärms beträgt der Unterschied mindestens 8 dB.

Vereinzelt werden im Ausland (z. B. Dänemark, Niederlande) industriell genutzte Gebäude als Lärmschutzeinrichtung verwendet [7]. Dies ist in Deutschland aus baurechtlichen Gründen nicht möglich.

Die Entwicklung von Sonic Crystals als Lärmschutzeinrichtung ist noch immer in der Entwicklung [7]. Allerdings werden immer wieder Versuche mit senkrecht neben der Straße angeordneten Zylindern berichtet. In [17] sind es drei Zylinder-Reihen aus gelochtem Metall, gefüllt mit Gummischnitzeln. Dieser Ansatz wurde in [18] weiterentwickelt.

Vertikale Grüne Wälle verbinden die positiven Eigenschaften von konventionellen Lärmschutzwänden und –wällen: Eine hohe Pegelreduktion verbunden mit einer besseren Ästhetik [7].

3.2.3 Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, flache Strukturen

Periodische Strukturen am Fahrbahnrand sind im Projekt HOSANNA⁹ untersucht worden [8], [11]. Dabei ergab sich eine Einfügedämpfung der streifenförmigen und gitterförmigen Hindernisse entlang der Straße von fast 3 dB. In den Niederlanden werden in den Boden neben der Fahrbahn eingelassene periodische Gitter schon in der Praxis eingesetzt. In dem Tagungsbeitrag wurde das von der Fa. 4Silence entwickelte Produkt WHIS@stone¹⁰ ausführlich dargestellt (Vortrag siehe Anlage).

3.2.4 Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Vegetation

Die lärm mindernde Wirkung von Vegetation am Fahrbahnrand wurde ebenfalls im HOSANNA-Projekt untersucht [8]. So kann durch schmale Waldstreifen neben der Straße eine deutliche Pegelminderung erreicht werden. Bäume, und Pflanzen können den Schall reflektieren, beugen und absorbieren [24]. Die Streuung des Schalls durch ein Vegetationsstreifen längs der Straße mit einer Breite von mindestens 12 m kann zur effektiven Pegelminderung einge-

⁹ <https://cordis.europa.eu/project/id/234306/reporting/de>

¹⁰ <https://www.4silence.com/de/whisstone/>

setzt werden. In einem derzeit laufenden Forschungsprojekt wird die akustische Wirkung von Waldstreifen noch einmal genauer untersucht.

3.2.5 Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Städtischer Straßenraum

Verschiedentlich werden im Ausland schon spezielle Absorber im Straßenraum eingesetzt. Dadurch kann die akustische Umgebung verbessert werden. Eine nennenswerte Pegelminderung wäre erst durch den massiven Einsatz von Absorbern (Straßenbelag und Fassaden) erreichbar.

3.3 Noch nie großmaßstäblich gebaut

3.3.1 Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Wand

In [25] wird das Prinzip eines Interferenzschalldämpfers für die Modifikation einer Lärmschutzwand angewendet. Nach einer Simulation mit der Rand-Element-Methode wurden die wirksamsten Vorsätze im Modellmaßstab gebaut und in der Halle für akustische Modelltechnik erprobt. Die messtechnisch ermittelte Pegelminderung betrug ca. 1 dB. Bisher nur in Simulationen getestet wurden Streukörper zur „Entschärfung“ der Beugungskante [26], [27]. Bei den Anordnungen mit zylindrischen Streukörpern in einem Rechteck konnten im Frequenzbereich von 400 Hz bis 2400 Hz Pegelminderungen von bis zu 5 dB erreicht werden [26]. Bei einer Anordnung in unterschiedlichen Formen (Dreieck, Rechteck, Kreisringausschnitt oder Linse) wurde eine Pegelminderung von über 5 dB erreicht. Modelltests wurden in der Halle für akustische Modelltechnik durchgeführt [38].

3.3.2 Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Wall

In [11] wurden im Modellmaßstab Modifikationen an einem Lärmschutzwall durchgeführt, die vom Prinzip einer Fresnel'schen Zonenplatte inspiriert waren. Eine zusätzliche Pegelminderung um ca. 1 dB konnte nachgewiesen werden.

3.3.3 Aktive Maßnahmen in der Ausbreitung, Städtischer Straßenraum

In [33] wurden die Untersuchungen der letzten 70 Jahren im Bereich Schallausbreitung im städtischen Raum analysiert. Bereits 2016 fanden Messungen in der Halle für akustische Modelltechnik (HAMt) der BAST an verkleinerten Modellen mit modifizierten Fassaden statt. Die Zusammenarbeit mit der Fachhochschule Frankfurt wird fortgeführt.

4 Literaturverzeichnis

- [1] Maly, T. et all.: Technisch / Wissenschaftliche Unterstützung bei der Umsetzung der EG-Umgebungslärmrichtlinie in nationales Recht, UFOPLAN-Nr. 204 51 145/04, Schlussbericht 2006.
- [2] Ochmann, M.; Donner, U.: Einfluss der Absorption von Lärmschutzwänden auf die Schallbeugung, FE 02.0328, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1114, 2015.
- [3] Weinrich, F.; Schierz, H.: Schalltechnische Untersuchungen zur Wirksamkeit von Lärmschirmen an zwei- und sechsstreifigen Straßenquerschnitten, (unveröffentlicht), Forschungsprogramm Straßenwesen FE02.206, Dresden 2003.
- [4] Peiró-Torresa, M.P. et all.: Open noise barriers based on sonic crystals. Advances in noise control in transport infrastructures, XII Conference on Transport Engineering, CIT 2016, 7-9 June 2016, Valencia, Spain.
- [5] Bendtsen, H. et all.: Noise Management and Abatement, CEDR, April 2010.
- [6] O'Malley, V. et all.: European Noise Directive and National Road Authorities: Final Summary Report CEDR Road Noise 2009-2013, August 2013.
- [7] Vanhooreweder, B. et all.: CEDR Technical Report 2017-02 State of the art in managing road traffic noise: noise barriers, CEDR, January 2017.
- [8] Forssén, J. et all.: Toolbox from the EC FP7 HOSANNA project for the reduction of road and rail traffic noise in the outdoor environment, Transport Research Arena 2014, Paris.
- [9] Yung, C.: Sonic Crystal Noise Barriers, Dissertation, The Open University 2012.
- [10] Clairbois, J.P.: QUIESST Guidebook to Noise Reducing Devices optimisation, Dezember 2012.
- [11] Bartolomaeus, W.: Lärmschutz an Straßen mit horizontalen (periodischen) Strukturen, Fortschritte der Akustik - DAGA 2017, 43. Deutsche Jahrestagung für Akustik, Kiel 2017.
- [12] Dilas, J.; Eggers, S.: CEDR Call 2012: Noise – Integrating strategic noise management into the operation and maintenance of national road networks, CEDR Contractor Report 2017-02, Entwurf, September 2017.
- [13] Bendtsen, H. et. all.: CEDR Call 2012: Noise – ON-AIR Guidance Book on the Integration of Noise in Road Planning, CEDR Contractor Report 2017-03, Entwurf, September 2017.
- [14] Schulze, Ch. et all.: Geräuschkinderung von Dünnschichtbelägen, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft F 111, Bergisch Gladbach 2015.
- [15] Bartolomaeus, W. et all.: Arbeitspapier Textureinfluss auf die akustischen Eigenschaften von Fahrbahndecken, FGSV 422, Köln 2013.
- [16] Bartolomaeus, W. et all.: Verbundprojekt „Leiser Straßenverkehr - Reduzierte Reifen-Fahrbahn-Geräusche“, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Straßenbau, Heft S 37, Bergisch Gladbach 2004.

- [17] Sánchez-Dehesa, J. et al.: Noise control by sonic crystal barriers of recycled materials, Condensed Matter - Materials Science (cond-mat.mtrl-sci), Cornell University Library 2010.
- [18] Garcia-Chocano, V. M.; Sánchez-Dehesa, J.: Optimum control of broadband noise by barriers based on sonic crystals, Condensed Matter - Materials Science (cond-mat.mtrl-sci), Cornell University Library 2012.
- [19] Bendtsen, H. et al.: State of the in managing road traffic noise: noise-reducing pavements, CEDR Technical Report 2017-01, January 2017.
- [20] Alberts, W. et al.: State of the in managing road traffic noise: summary report, CEDR, June 2017.
- [21] Morgan, Ph.; Watts, G.: Application of the Boundary Element Method to the Design of Transport Noise Mitigation Measures, Annual Research Review, TRL 2004.
- [22] Volz, R.; Möser, M.: Aufsätze für Schallschirme – Messungen an einer Lärmschutzwand, Fortschritte der Akustik - DAGA 2000, 26. Deutsche Jahrestagung für Akustik, Oldenburg 2000.
- [23] Zaleski, O.; Bockstedte, A.: Lärmschutzwände mit Beugungskante aus Helmholtz-Resonatoren für Lkw, Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 1055, Juni 2011.
- [24] Bocur, V.: Urban Forest Acoustics, Techniacustica, Terassa 2005.
- [25] Chudalla, M.: Anwendung des Interferenzschalldämpfer-Prinzips auf eine Lärmschutzwand, Masterarbeit 2010.
- [26] Chudalla, M.: Streukörper auf Lärmschutzwand, Fortschritte der Akustik - DAGA 2015, 41. Deutsche Jahrestagung für Akustik, Nürnberg 2015.
- [27] Chudalla, M.: Entschärfte Beugung – Kann der Beugungseffekt durch Streukörper an der Beugungskante verringert werden? Fortschritte der Akustik - DAGA 2016, 42. Deutsche Jahrestagung für Akustik, Aachen 2016.
- [28] Morgan, Ph. et al.: Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces, FEHRL Report 2006/02, Brüssel 2006.
- [29] Haider, M. et al.: ROSANNE – Final Summary Report 2016.
- [30] Conte, F.; Jean, P.: Tyre noise radiation: road effects, Automobil Comfort Conference, Le Mans, November 2006.
- [31] Sandberg, U. et. al.: State-of-the-Art regarding poroelastic road surfaces, PERSUADE, Deliverable D8.1, February 2010.
- [32] Auerbach, M; Bérengier, M.: Conclusions of the DEUFRACO P2RN Final Seminar, Mülhausen, März 2009.
- [33] Krimm, J. et al.: Der urbane Raum in der Akustik als architektonische Gestaltungsgrundlage für leisere Städte, Fortschritte der Akustik - DAGA 2017, 43. Deutsche Jahrestagung für Akustik, Kiel 2017.

- [34] Müller, S. et al.: Zusammenhang reduzierter Geräuschgrenzwerte mit den in-use-Geräuschemissionen bei unterschiedlichen Verkehrssituationen, Forschungsbericht von Möhler + Partner Ingenieur AG, Augsburg, Mai 2020 (noch unveröffentlicht).
- [35] Lindner, P. et al.: Akustische Wirksamkeit alter Lärmschutzwände, BAST-Bericht V 316, Bergisch Gladbach 2019.
- [36] Bartolomaeus, W, et al.: Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 2020 (noch unveröffentlicht).
- [37] Lindner, P. et al.: Akustische Wirksamkeit von Lärmschutzwandaufsätzen, BAST-Bericht V 334, Bergisch Gladbach 2020.
- [38] Bartolomaeus, W.: Modell-Prüfstand für akustische Streuung, Fortschritte der Akustik - DAGA 2019, 45. Deutsche Jahrestagung für Akustik, Rostock 2019.

Vortrag „Lärmreduzierungsplatten für den Straßenrand“

Wolfram Bartolomaeus

Gliederung

- Praxis in den Niederlanden
- EU-Projekt HOSANNA
- Wirkungsweise Diffraktor
- Vor-Messungen in der BAST
- Erprobungsstrecke bei Nördlingen
- Messkonzept Einfügedämpfung
- Zusammenfassung - Ausblick



Praxis in den Niederlanden

In den Niederlanden wurde vor 8 Jahren die Firma 4SILENCE gegründet. Diese vertreibt die Diffraktoren unter dem Namen WHIS@stone.

Das Produkt wurde 2019 eingehend von TNO (Niederländische Organisation voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek) in Simulationen untersucht und eine Lärmreduzierung von 2-3 dB für geringe Höhen gefunden.

Anfang dieses Jahres wurde das Wirkprinzip in die niederländischen Rechen- und Messvorschriften für Lärm aufgenommen.

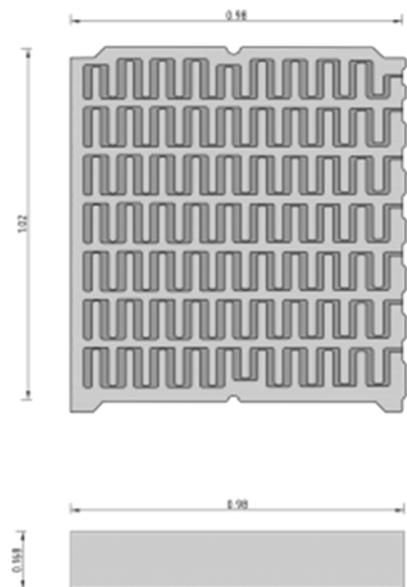
Anders als in Deutschland, wo der Lärm nur berechnet wird (RLS-19), sind in den Niederlanden auch Messungen erlaubt, mit denen innovative Produkte bei der Ermittlung der Schallausbreitung im gesetzlich geregelten Rahmen berücksichtigt werden können.

EU-Projekt HOSANNAH

Die EU finanzierte mit rund 5 Mio. € über 2,5 Jahre bis April 2013 das 13 Mitglieder umfassende Projekt HOSANNA.

Ziel war die Entwicklung, Erprobung, Verifizierung und Verbreitung neuer Lärmschutzverfahren unter Anwendung natürlicher und künstlicher Mittel.

Neben vielen interessanten „weichen“ Lärmschutzmaßnahmen z. B. durch Vegetation wurde auch die Einfügedämpfung von streifenförmigen und gitterförmigen periodische Hindernisse entlang der Straße untersucht. Für diese ergaben sich fast 3 dB Minderung.

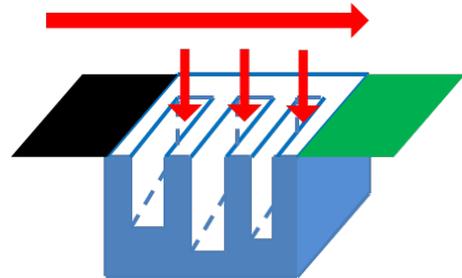




Es handelt sich hier um eine erfolgreiche Anwendung von Metamaterial – Stichwort: „Sonic Crystal“ – bei der Lärmbekämpfung an Straßen.

Wirkungsweise Diffraktor

Dem Straßenverkehrslärm wird durch Kanäle, die als Helmholtz-Resonatoren dienen, Energie entzogen und phasengedreht wieder zugeführt. Dadurch entsteht eine Aufwärtsbeugung des Schalls. Breite und Tiefe der Kanäle sind auf das Maximum des Verkehrslärmspektrum (800 – 1200 Hz) abgestimmt.



Im Gegensatz zu Absorbern, die dem Schallfeld Energie entziehen, handelt es sich hier um sogenannte „schallweiche“ Oberflächen, die dem Schallfeld eine andere Richtung geben. Das ist das Prinzip der Beugung.

Vor-Messungen in der BAST

In der Halle für akustische Messtechnik (HaMt) der Bundesanstalt für Straßenwesen wurden letztes Jahr Vor-Untersuchungen des Wirkprinzips der Diffraktoren an Aluprofilen im Maßstab 1:8 durchgeführt.



Für unterschiedliche Höhen von 5 bis 40 cm

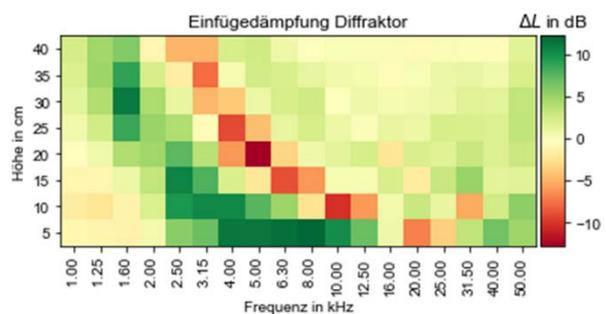
(Maßstäblich entsprechend 40 cm bis 3,20 m) wurden sogenannte Terz-Pegel einer Rauschquelle (4-PI Bändchenhochtöner) an dem Mikrofon jenseits des Diffraktors ermittelt.



Die Differenz zur Messung ohne Diffraktor ergibt die sogenannte „Einfügedämpfung“.

Sie liegt hier zwischen 10 dB (grün) für geringe Höhen und Frequenzen bzw. -10 dB (rot) – also eine Verstärkung – für große Höhen und Frequenzen.

Das Verkehrslärmspektrum hat im Bereich von 800 Hz bis 1200 Hz sein Maximum. In diesem Bereich ist die Wirksamkeit für geringe Höhen besonders hoch.



Erprobungsstrecke bei Nördlingen

Bei Nördlingen in Bayern ist der Bau einer Erprobungsstrecke geplant.

Sie sehen hier die Lage der 600 m langen Strecke als Satellitenbild. Geplant sind 2 Varianten von je 100 m Länge mit einem Referenzabschnitt dazwischen.



Die Baumaßnahmen sollten dieses Jahr stattfinden und die Messungen Anfang 2021. Dies wurde um 1 Jahr verschoben.

Die Maßnahme ist m. E. nur für den Lärmschutz an Straßen im nachgeordneten Straßennetz geeignet. Dort könnten beim Lärmschutz einzeln stehender Gebäuden im ländlichen Gebiet andere Maßnahmen wie z. B. Lärmschutzwände vermieden werden.

Messkonzept Einfügedämpfung

Gemessen werden sollen wieder die Terzpegel, aber dieses mal von vorbeifahrenden Fahrzeugen.

Die Messung erfolgt, wie bei dem Verfahren der „Statistischen Vorbeifahrt“ (SPB) an jeweils 4 Mikrofonen zeitgleich am Diffraktor und an der Referenz. Die Mikrofone jeweils direkt an der Straße dienen zur Normierung der Vorbeifahrtpegel.



Wenn eine ausreichende große Anzahl von Fahrzeugvorbeifahrten aufgenommen werden, kann eine statistische gut abgesicherte Einfügedämpfung des Diffraktors an den Mikrofonpositionen ermittelt werden.

Zusammenfassung - Ausblick

- Mit WHIS®stone steht ein Produkt zur Lärminderung an Landstraßen zur Verfügung.
- Die akustische Wirksamkeit für niedrige Höhen wurde durch Simulation und Messungen im Labor nachgewiesen.
- Die akustische Wirksamkeit in der Realität (neben der Straße bei Wind und Wetter) soll an einer Teststrecke erprobt werden.
- Ebenso sollen Erfahrungen mit Einbau und Betrieb (Wasserabfluss, Reinigung und Winterdienst) gesammelt werden.

Zur Integration von BIM und GIS aus Sicht der Landschafts- und Umweltplanung

Dr. Johannes Gnädinger

Prof. Schaller UmweltConsult GmbH, j.gnaedinger@psu-schaller.de

Keywords: Interoperabilität, Datenaustausch, fachübergreifende Datenintegration, BIM

Einleitung

Aufgabe von Building Information Modeling (BIM), damit von digitaler Kollaboration im Bereich Planen und Bauen, ist ein engerer interdisziplinärer Austausch um stringenter zu einem vollständigen und fehlerfreien Gesamtmodell des geplanten Objekts oder Vorhabens zu gelangen als bisher (DB 2021, DVW 2019, EUBIM 2016). Dazu müssen folgende Ziele der digitalen Kollaboration in BIM-Prozessen gelten:

1. Die Interoperabilität, d. h. möglichst verlustfreie Austauschbarkeit von Daten
2. Die fachübergreifende Integration von Daten und Datenmodellen in ein Gesamtmodell

Zum Zweck dieser engeren digital gestützten Zusammenarbeit sollen die Planungsbeiträge der Beteiligten frühzeitig und systematisch so aufeinander abgestimmt werden, dass Kollisionen vermieden und die räumliche und funktionale Organisation der zu planenden Gegenstände bestmöglich bewerkstelligt werden (Borrmann et al. 2015; Egger et al. 2013).

Die Datenerfassung soll im Sinne der vorgenannten Ziele so weiterentwickelt werden, dass die erhobenen Daten möglichst effizient, d. h. ohne oder mit möglichst wenig Korrektur oder Aufbereitung in die jeweiligen Fachmodelle geschrieben werden können (Attribuierung)

Dazu sind auch abgestimmte und standardisierte Klassenkataloge erforderlich; diese befinden sich momentan, unter anderem für den Bereich Landschaft und Freiraum, in Entwicklung (buildingSMART Deutschland, noch unveröffentlicht).

Die in der BIM-Kollaboration beteiligten Akteure sollen in die Lage versetzt werden, die für sie relevanten fachfremden Daten und Informationen möglichst frühzeitig und vollständig zu erhalten. Auch müssen sie inhaltlich verstanden werden (z. B. Artenschutz, weitere sensible Umweltaspekte), um sie in der weiteren Arbeit besser berücksichtigen zu können als dies in den bisherigen Planungs- und Kooperationsmethoden oft der Fall war. Dazu werden, neben der visuellen Darstellung im Modell und neben der Attribuierung, weitere Formen der digitalen Informationsvermittlung und Kommunikation erforderlich; auch hier ist weitere Entwicklung erforderlich, gerade für die vielfältigen und spezialisierten Inhalte der Umweltplanung (Gnädinger 2019, Gnädinger et al. 2018).

An drei Projektbeispielen wird nachfolgend gezeigt, wo fachübergreifende Integration und verlustfreier Austausch im Einzelnen wichtig sein können und was GIS hierzu beitragen kann.

A99 Bauwerksintegration in GIS

Aufgabe dieses BIM-Pilotprojekts des Bundes war es, das BIM-Bauwerksmodell (Brücke und Strecke mit Autobahnausbau von 6 auf 8 Streifen) in das vorbereitete GIS-Landschaftsmodell

(Datengrundlage siehe unten) zu integrieren. Damit war es möglich, die umweltbezogenen Wirkungen auf die durch das Vorhaben betroffenen Schutzgüter in GIS zu analysieren und die Ergebnisse mit den beteiligten Bauingenieuren und Gutachtern (Artenschutz, Schall) zu kommunizieren.

Ein verlustfreier und auch bidirektionaler Datenaustausch zwischen BIM-Modell (in Autodesk Revit) und GIS (ArcGIS) wurde durch Konvertierung mittels Esri Data Interoperability Extension möglich (Abb. 1).

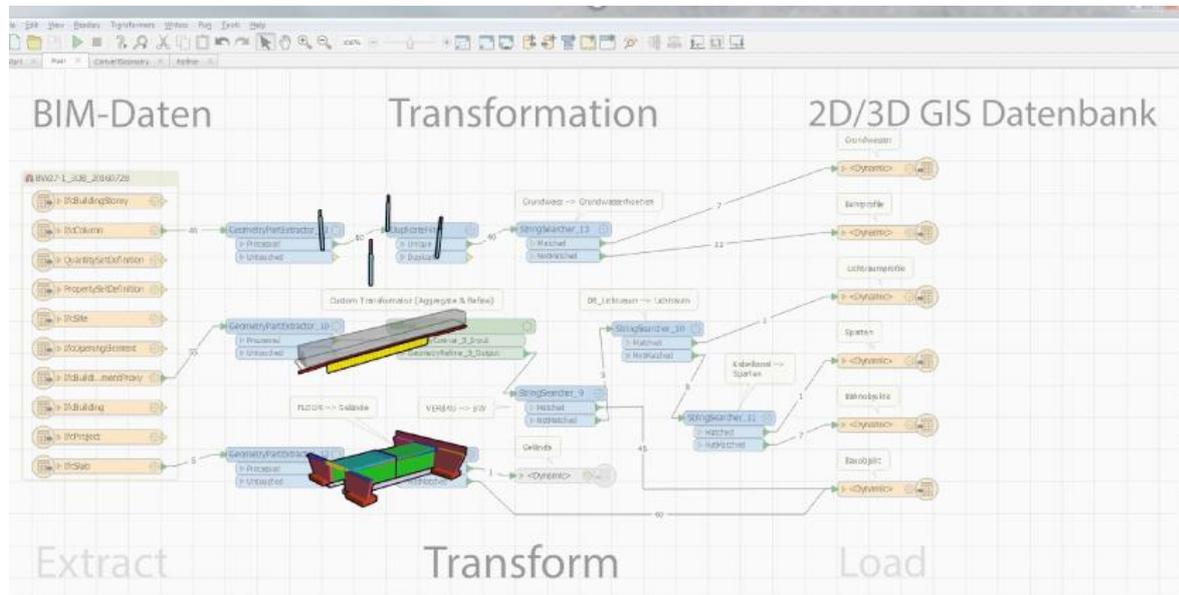


Abb. 1: Konvertierung der BIM-Daten mittels ETL-Prozess (Extract Transform Load) in das GIS-Datenformat (PSU).

Die Bauwerksintegration erfolgte dann im räumlichen und thematischen Gesamtkontext. Das Datenmodell setzte sich im Wesentlichen aus den Geobasisdaten (z. B. DTM/DSM, Liegenschaftskataster ALKIS, Orthofoto, tatsächliche Nutzung, 3D-Gebäude), den Umweltfachdaten (z. B. Geologie, Hydrogeologie, Boden, Vegetationsstrukturen, Baumbestand, Biotoptypen, Artenschutzkartierung) sowie dem BIM-Planungsmodell (TIN-Vermessung, BIM-Bauwerksdaten) zusammen (Abb. 2).

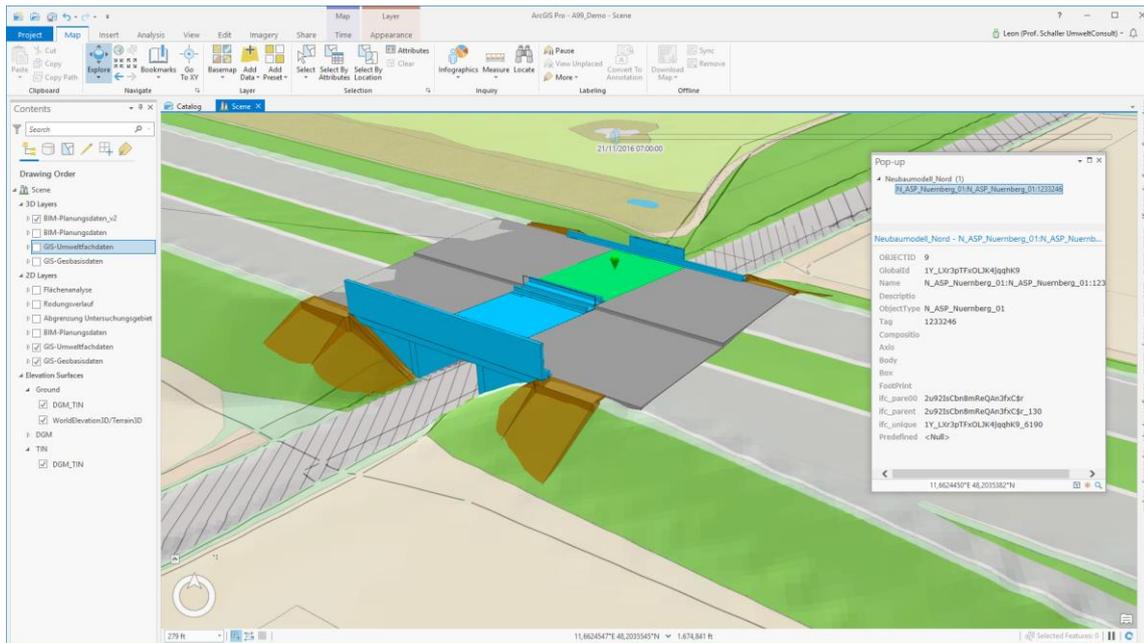


Abb. 2: Das in die 3D-GIS-Landschaft integrierte Objektmodell aus Autodesk Revit samt attribuerter Bauwerksinformation (PSU)

Sofern z. B. schon eine qualitativ ausreichende Biotop- und Nutzungstypenkartierung vorliegt sind bereits in einer frühen Planungsphase (z. B. Trassenfindung, Vorentwurf) automatisierte erste Eingriffsbilanzierungen möglich. So kann der potenzielle Eingriff rasch überschlägig ermittelt und durch Optimierung des Bauwerksentwurfs reduziert werden (Abb. 3).

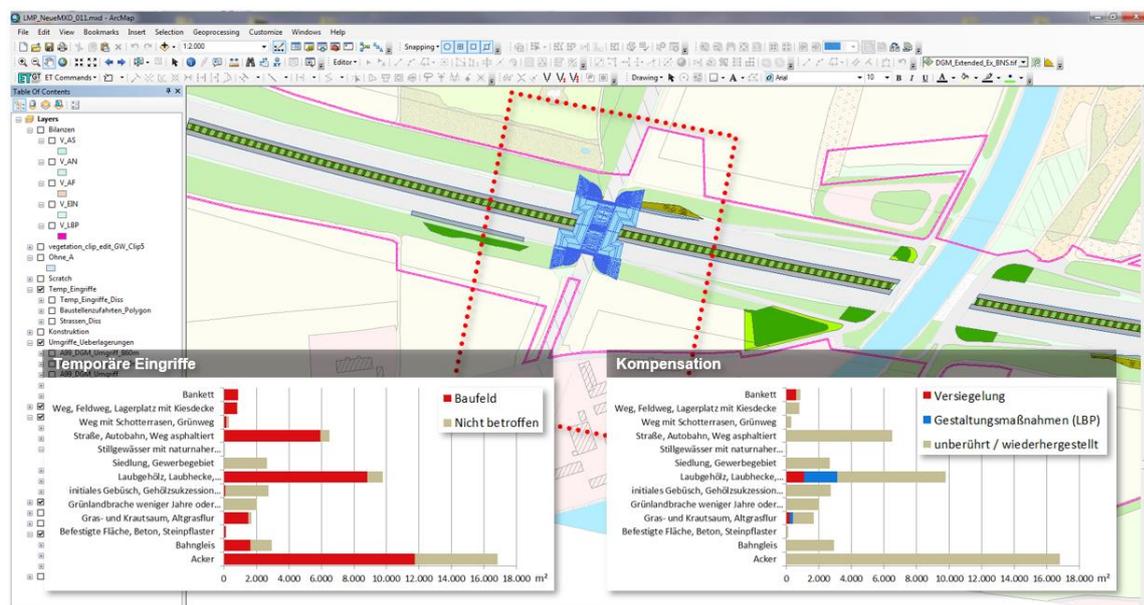


Abb. 3: Automatisierte Bilanzierung von Eingriff und Ausgleich (PSU).

Zweite S-Bahnstammstrecke München

Beim Großprojekt Zweite S-Bahnstammstrecke in München wurde die Chance genutzt, ein übergreifendes GIS-Modell mit Bestand und Planung einzurichten. Es dient der Übersicht über viele relevanten Elemente des im Korridor der Stammstrecke vorhandenen Stadtgefüges, z. B. mit geologischem Aufbau, Natur und Landschaft, Nutzungen, ober- und unterirdischen Bestandsbauwerken sowie der BIM-Planung für den geplanten Tunnelneubau und die Stationen.

Zur digitalen Onsite-Datenerfassung wurden sowohl für DB-Mitarbeiter wie für die beauftragten Planer Tablets und Mobile Phones mit GIS-Datenerfassungssoftware (mit Karten- und individuell generierbaren Formularen) eingerichtet (Abb. 4). Damit werden beispielsweise Grundwasserpegelstände oder Vegetations- und Baumbestände (siehe unten) erfasst und die Daten auf einen eigens für das GIS-Projekt eingerichteten GIS-Server übertragen. Die für die Datenerfassung vorbereiteten Karten sind online und offline verfügbar. Die Datensynchronisierung erfolgt bei Offline-Betrieb sobald die Verbindung wieder aufgebaut ist. Die Datenqualität wird durch die kartengestützten Formulare erheblich verbessert und der Prozess der Datengenerierung und des Einpflegens gewinnt entscheidend an Effizienz. Eine Routingfunktion erlaubt die Nachverfolgbarkeit der räumlichen und zeitlichen Abfolge von Einzeldatenerfassungen. Bei Kartierung von Flächen, z. B. Biotopen, erfolgt die Digitalisierung der Polygone vorab im Büro, da dies zumindest bei umfangreichen Kartierungen rationeller ist, als die Polygone draußen zu digitalisieren. Zeigt sich anschließend im Gelände, dass Änderungen oder Ergänzungen von Polygonen erforderlich sind, ist dies selbstverständlich noch möglich. Fotos, Videos und erfasste Daten können direkt ins Büro weitergeleitet und dort unmittelbar verwendet werden.

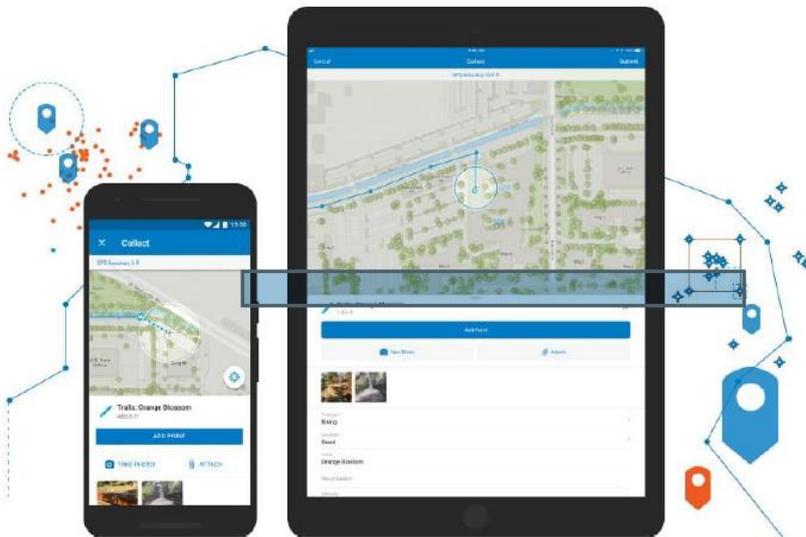


Abb. 4: Onsite-Datenerfassung mit Collector for ArcGIS auf Mobile Phone oder Tablet (Esri inc.).

Im Bereich der 3D-Darstellung von Bäumen und Erfassung von Baumhöhlen wurden zwei neue Anwendungen entwickelt, nämlich die Generierung von Wurzelbereichen sowie von Baumhöhlen (Abb. 5). Zur realistischeren und doch automatisierten Darstellung von Bäumen wurden die Stämme und Baumkronenvolumina auf Basis der im Gelände erhobenen Vermessungs- und Baumbestandsdaten (Koordinate, Stammdurchmesser, Kronenansatz, Kronenhöhe, Gesamthöhe)

generiert. Ergänzend wurden die Baumwurzeln als Wurzelballen generiert, da in dem gezeigten Baumbestand temporäre, ober- und unterirdische bauliche Eingriffe vorgesehen sind, die hinsichtlich der betroffenen Bäume analysiert und beurteilt werden müssen. Das Wurzelwerk von Bäumen wird aufgrund fehlender technischer Möglichkeiten bisher im Gelände nicht erhoben. Daher wurden die Wurzelballen behelfsweise, ohne Erfassungsdaten, automatisch generiert, wobei sich die Maße nach den Größenklassen der Bäume richten, so dass z. B. große Bäume große und kleine Bäume kleine Wurzelballen erhalten. Auf diese Weise wird die Verschneidung der Wurzelbereiche mit den geplanten Eingriffen in den Boden orientierungshalber möglich. Wurzelballen von am Hang stehenden Bäumen werden in der Bestandsdarstellung an der Geländeoberfläche des Hanges geschnitten, so dass sie nicht aus dem Hang herausstehen, sondern abschließen. Auch hier handelt es sich selbstverständlich um eine vereinfachte Darstellung.

Für die Baumhöhlen wurden hingegen reale Daten im Gelände erhoben und verwendet. Erfasst wurden beispielsweise die Höhen am Baum, in denen die Höhlen vorkommen, sowie deren Exposition. Mit diesen Eingangsdaten werden im 3D-Workflow die Höhlenvorkommen am Baum mit Fahnen markiert, wobei die Länge der Fahnen anzeigt, in welchem Höhenbereichen Baumhöhlen vorhanden sind.

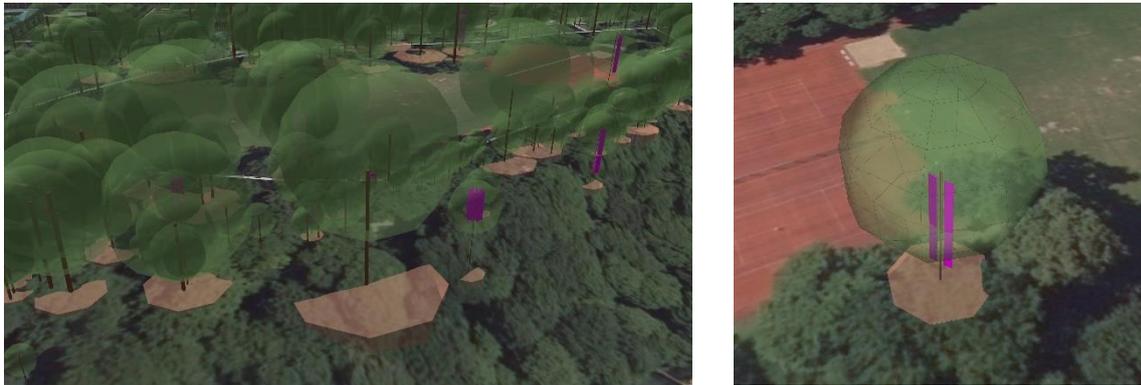


Abb. 5: Erfassung des Baumbestandes mit Wurzelbereich und Höhlenbäumen (PSU).

Eine weitere Anwendung bei der Zweiten S-Bahnstammstrecke ist die Übernahme der Ergebnisse der geologischen Gutachten und damit die Darstellung des geologischen Untergrundes. Eingangsdaten waren hier einerseits die Koordinaten der Bohrpunkte, die jeweiligen, unterschiedlich tief reichenden Bohrprofile mit Anordnung und Benennung der Schichten sowie die zwischen den Bohrprofilen generierten Längsschnitte entlang der geplanten zweiten S-Bahn-Röhre. Koordinaten und Bohrprofile wurden lagerichtig in das GIS-Modell übernommen und die Längsschnitte aus den Gutachten georeferenziert und vertikal zwischen die Bohrprofile eingefügt. Zudem wurden die originalen geologischen Gutachten (PDF-Dokumente) in der Datenbank abgelegt und mit dem jeweiligen Bohrpunkt verlinkt. Wird nun der jeweils interessierende Bohrpunkt im Modell aufgerufen so werden über ein Fenster die Grundinformationen wie auch das Dokument des Gutachtens bereitgestellt und so für den Nutzer als rechtlich verbindliche Planungsgrundlage verfügbar gemacht (Abb. 6). Die geologische Längsschichtung kann an jedem interessierenden Punkt im Modell eingesehen und hinsichtlich der geplanten oder bestehenden Bauwerke oder -maßnahmen beurteilt werden (Abb. 7).

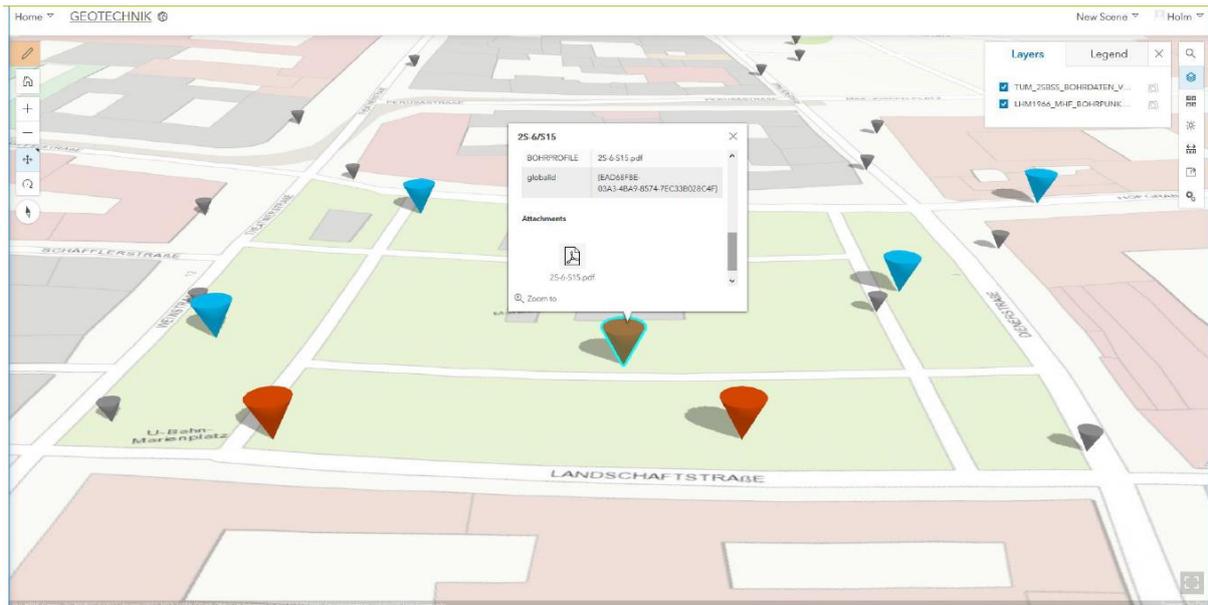


Abb. 6: Markierung der geologischen Bohrungen unterschiedlicher Firmen und Institutionen (Farben der Kegel) sowie unterschiedlicher Tiefe (Größen der Kegel), mit Abfrage der Grundinformationen und des jeweiligen Originalgutachtens (PSU).

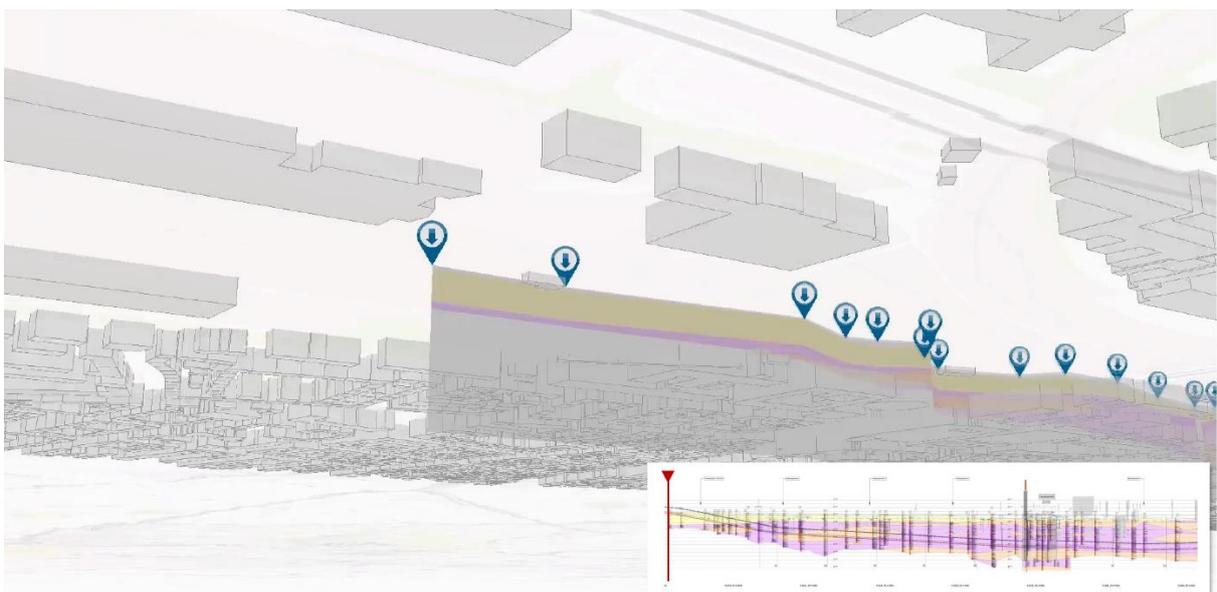


Abb. 7: Blick unterhalb der Geländeoberfläche auf die zwischen den Bohrpunkten verlaufenden geologischen Längsschnitte (PSU).

3D Entwicklungsszenario Köln-Mühlheim

Für das Fraunhofer-Projekt Morgenstadt City Insights m:ci wurde am Beispiel des teils zu transformierenden Stadtteils Köln-Mühlheim ein Stadt- und Landschaftsmodell mit 3D-GIS erstellt. Dazu wurde eine größere Zahl an Anwendungsfällen entwickelt (Rendering der geplanten Stadtstruktur, Integration unterirdischer Versorgungsleitungen, Integration der Lärmauswirkungen, Gebäudeenergieszenarien, Integration Stadtgrün, Überflutungsszenario, Tool zur digitalen Bürgerbeteiligung im Bebauungsplanverfahren). Hier wird beispielhaft das Überflutungsmodell

vorgelegt. Basisdaten waren ein Laserscanning-Geländemodell sowie die 3D-Gebäude. Es wurde das Szenario eines Versagens der Hochwasserschutzanlagen bei einem hundertjährigen Hochwasser (HQ 100) simuliert. Dazu wurden seitens der Stadtentwässerungsbetriebe Köln die in Abhängigkeit von der Zeit zu erwartenden Pegelstände des Rheins bereitgestellt. Im 3D-Modell wurde dann der Anstieg des Wasserspiegels im zeitlichen Verlauf simuliert und an den Gebäudefassaden abgebildet (Abb. 8, 9, 10). Um im konkreten Einsatzfall der Feuerwehr und Rettungsdienste die je aktuelle Wasserhöhe abfragen und mit geeigneten Einsatzmitteln reagieren zu können wurden auch virtuelle Pegel generiert und in den Straßen aufrufbar gemacht (Abb. 11). Die je nach Wasserstand und Geländehöhe von Überflutung betroffenen Gebäude können markiert und die entsprechenden Werte an den Fassaden abgefragt werden (Abb. 12).



Abb. 8: Zunehmende Überflutung in Abhängigkeit von der Geländehöhe (PSU).



Abb. 9: Übersicht über die Überflutungslage bei HQ 100 (PSU).



Abb. 10: Blick in einen Straßenraum, Wasserspiegellage ist an den Fassaden einschätzbar (PSU).



Abb. 11: Blick in einen Straßenraum, die aktuelle Wasserspiegellage ist an einem eigens generierten virtuellen Pegel ablesbar. (PSU).

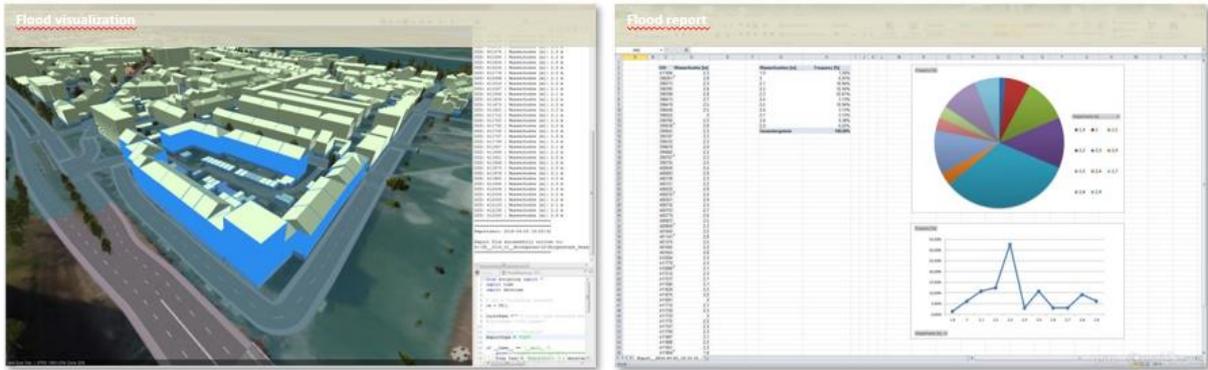


Abb. 12: Markierung der je nach Überflutungsstand betroffenen Gebäude und Abfrage z. B. der betroffenen Stockwerke (PSU).

Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

An den vorgestellten Beispielen sollte gezeigt werden, dass es sich bei der BIM-Kollaboration um eine interdisziplinäre Form der Zusammenarbeit handelt, die vor allem auf einen bestmöglichen Datenaustausch angewiesen ist. Um die fachübergreifende Integration der Teilmodelle zu ermöglichen, ist ein möglichst verlustfreier Austausch durch Interoperabilität erforderlich. In diesem Zusammenhang ist es Aufgabe der Softwareentwicklung, dass händische Nacharbeit bei der Datentransformation bald nicht mehr nötig ist. Eingangsdaten sind vielfach, je nach Quelle, in unterschiedlichen Koordinatensystemen angelegt. Zur Vermeidung von Lageungenauigkeiten und damit von Fehlern und Nacharbeit ist daher eine besonders frühzeitige Abstimmung der Koordinatensysteme wichtig.

Literatur

- Borrmann A., König M., Koch C., Beetz J. (Hrg.) 2015. Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis. VDI-Buch. Springer. 591 S.
- DB (Deutsche Bahn) 2021: Building Information Modeling bei der DB Netz AG, <https://www1.deutschebahn.com/db-netz-bim> (09.01.2021)
- DVW e. V. (Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement) & Runder Tisch GIS e.V. (eds.) 2019: Leitfaden Geodäsie und BIM, Version 2.0, DVW-Merkblatt 11-2019, 272 pp.
- Egger M., Hausknecht K., Liebich T., Przybylo J. 2013: BIM-Leitfaden für Deutschland: Information und Ratgeber – Endbericht. AEC3 & OPB, 109 S.
- EUBIM Taskgroup 2016: Handbuch für die Einführung von Building Information Modelling (BIM) durch den europäischen öffentlichen Sektor, 84 pp.
- Gnädinger J. 2020: BIM ist Zukunftsinvestition – Building Information Modeling und die Relevanz für Landschaftsplaner. – Landschaftsarchitekten 4/2020, S. 6-7.
- Gnädinger J., Schaller J., Freller S., Mattos C., Ertac O. 2018: Integrated 3D-Workflows in BIM-GIS for Infrastructure Planning. In: Sychev V.G. and Müller L. (eds.): Novel Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia. Monograph in 5 Volumes. Vol. 5

Landscape Planning, Management and Rehabilitation. Publishing House FSBSI Moscow, ISBN 978-5-9238-0251-1, p. 46-50.

Landschaftsplanung und BIM: Zum Verhältnis von Konfliktanalyse und Kollisionsprüfung

Dr. Johannes Gnädinger

Prof. Schaller UmweltConsult GmbH

j.gnaedinger@psu-schaller.de

Keywords: Konfliktanalyse, Kollisionsprüfung, BIM

Einleitung

Die Kollisionsprüfung ist auch im Bereich der Umwelt- und Landschaftsplanung von Bedeutung. Sie ist sogar ein Kernthema der Landschafts- und Umweltplanung und daher nicht neu: In den Methoden der Umweltverträglichkeitsstudie (UVS) sowie des Landschaftspflegerischen Begleitplans (LBP) werden potenzielle Kollisionen mit dem Vorhaben immer schon geprüft, und zwar unter dem Begriff „Konfliktanalyse“. Diese ist sogar Kernelement von UVS und LBP. Konflikte führen zu Betroffenheit und damit zu Nachteilen für Boden, Wasser, Luft, Klima, Arten und Lebensräume, für die durch das Vorhaben betroffenen Menschen, für das Landschafts-, Orts- und Stadtbild oder für Kultur- und Sachgüter. Immer geht es darum, solche Kollisionen frühzeitig zu ermitteln und zu bewerten zu vermeiden oder, sofern nicht möglich, weitestgehend zu minimieren. Dies soll nun über das Teilmodell Landschaft / Umwelt in die fachübergreifende BIM-Kollaboration eingespeist, somit fachübergreifend kommuniziert und gemeinsam optimiert werden.

Kollision von Neuplanung und Bestand

Bei näherer Betrachtung ist aber eine inhaltliche Differenzierung erforderlich: Kollision zwischen (a) zwei neu zu planenden Gegenständen (egal ob diese baulicher oder landschaftlicher Art sind) versus Kollision zwischen (b) einem neu zu planenden Gegenstand und einem *zu erhaltenden* Gegenstand oder dessen Eigenschaften. Im Fall (a) kann die Kollision mit einem gewissen Planungsaufwand technisch beseitigt werden. Im Fall (b) ist es unter Umständen komplexer, da hier Gegenstände betroffen sind, die eine *gesellschaftliche Bedeutung* haben: Boden, Bäume, Bodendenkmäler, historische Gebäude usw. Diese können meist nicht einfach „passend“ gemacht werden. Der *landschaftsplanerische Konflikt* lässt sich also nicht immer rein technisch lösen wie bei einer BIM-typischen, *rein technischen Kollision*: Oft verbleiben dauerhafte Verluste (von Natur oder Kultur), die allenfalls in Teilen kompensierbar sind, z. B. die Versiegelung von Flächen oder die Rodung von Höhlenbäumen (Abb. 1).

Rodung Baufeld Isarbrücke bis AS Aschheim Südseite
(Bau-km 1+300 - 4+700)

Datum: 17.11.2017

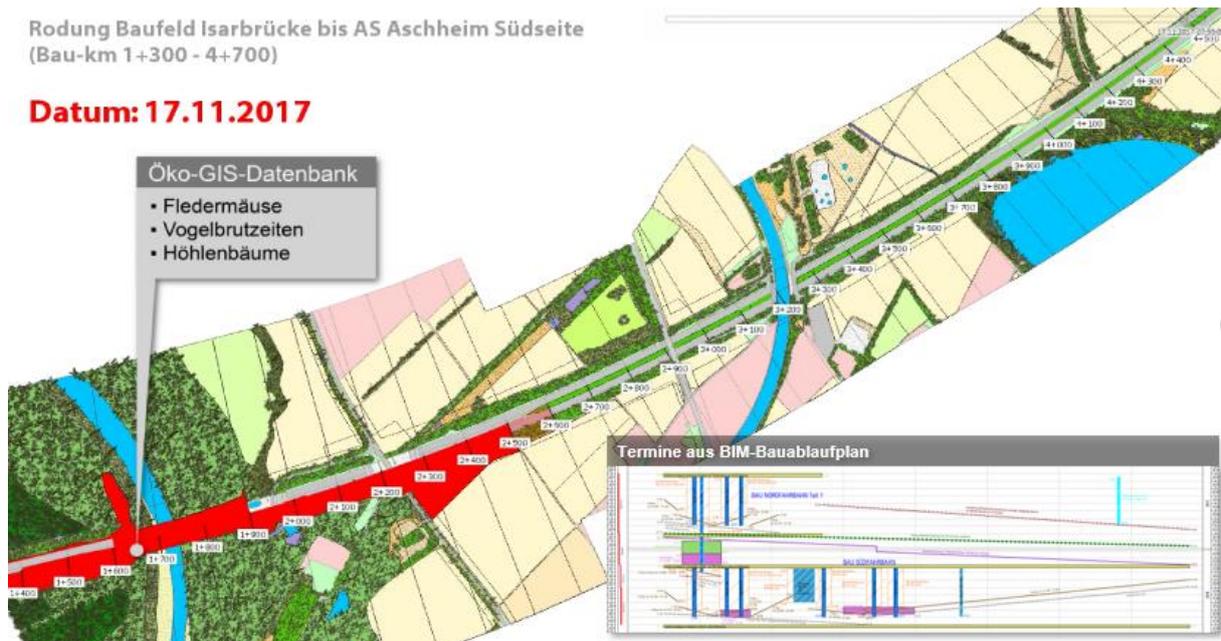


Abb. 1: BIM-Pilotprojekt A99, Rodungsplan gemäß BIM-Ablaufplan, mit potenziellem Konflikt Artenschutz (PSU).

Diese (nur zum Teil oder nur langfristig kompensierbaren) Nachteile sind hinzunehmen, sofern das Bauvorhaben genehmigt und umgesetzt werden soll. Diese Kollisionen bzw. Kollisionswirkungen oder Konflikte sind also im Fall (b) nicht vollständig zu beseitigen (z.B. Verlust aller Bodenfunktionen nach Bodenabtrag und Überbauung), im Fall (a) hingegen in der Regel schon (z. B. indem ein Wanddurchbruch etwas verschoben wird, sodass dieser nicht mit einem Träger kollidiert).

Konflikte trotz Optimierung nicht immer regulierbar

Mit Kollisionsprüfung und -beseitigung ist im Zusammenhang mit den Gegenständen der Landschaftsplanung auch nicht zugleich gewährleistet, dass keine Konflikte oder Verluste mehr verbleiben. Dies zu erkennen erscheint sehr wichtig, wenn nun BIM als das Allheilmittel für eine perfekte Integration gesehen wird. Auf der technisch-digitalen Betrachtungsebene (Kollaborationsmodells) ist dies ein realistisches und absolut wünschenswertes Ziel und es kann durch frühzeitigen fachübergreifenden Austausch vieles verbessert werden. Dies darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass auf der materiell-physischen Ebene trotzdem Verluste verbleiben, sodass die Kollision in der Wirklichkeit eben nicht vollständig vermeidbar oder zu beseitigen ist.

Konflikte im klassisch-landschaftsplanerischen Sinn sind immer Kollisionen vom Typ (b). Immer geht es dabei darum, dass bestehende, als mehr oder weniger wertvoll, selten, bedeutend, erhaltenswert oder schutzwürdig bewertete Gegenstände bzw. Schutzgüter von einem Planungsvorhaben ganz oder in Teilen „betroffen“ sein werden. Dies ist Gegenstand der Konfliktdanalyse.

Die Konfliktdanalyse des Landschaftsplaners ist sehr breit angelegt, denn er untersucht die Wirkungen des Vorhabens auf die (Schutzgüter der) Umwelt. Die Konflikte können sich dabei auch in Form von Emissionen wie Schall oder Erschütterungen äußern, so dass es nicht immer physische Gegenstände sind, die direkt miteinander kollidieren.

Zeigen sich also Kollisionen zwischen Teilmodell Bauwerk und Teilmodell Umwelt, so besteht die Aufgabe darin, zu klären, ob die Neuplanung zum Schutz des zu erhaltenden Umweltaspekts geändert werden muss oder ob dieser nach Abwägung „geopfert“ und so weit wie möglich kompensiert wird um die Neuplanung ohne größere Änderungen umzusetzen.

Fazit

Der Konfliktbegriff der Umweltplanung ist somit breiter, differenzierter und substanzieller als der Begriff der Kollision im Sinne von BIM. Zwischen Konflikt und Kollision gibt es aber eine gemeinsame Schnittmenge. So wird es sinnvoll sein – ja es muss gerade der eigentliche Zweck der BIM-Kollaboration zwischen technischer Planung und Umweltplanung sein – dass die Ergebnisse der umweltplanerischen Konfliktanalyse, in Form des Landschafts- bzw. Umwelt-Teilmodells mit den technischen Teilmodellen gekoppelt werden, so dass die Umweltauswirkungen des Vorhabens in deren unterschiedlichen Facetten deutlich werden. Manche dieser Auswirkungen lassen sich dann in direkter Kollaboration durch wechselseitige Abstimmung, Umplanung oder Modelloptimierung beheben, so dass die entsprechenden realen Konflikte von vornherein vermieden werden.

Andere Konflikte (z. B. die baubedingten Lärmemissionen auf ein Erholungsgebiet) lassen sich durch Einplanen temporärer Lärmschutzwände im BIM-Modell oder auch durch Maßnahmen außerhalb des BIM-Modells, z. B. lärmverminderte Baumaschinen, vermeiden. Im letzteren Fall hat die Kollisionsprüfung im Sinne der Umweltplanung nicht eine Überarbeitung des BIM-Modells zur Folge, sondern die Abstimmung von solchen Aspekten im Bauablauf, die ausschließlich in den Ausschreibungsunterlagen ihren Niederschlag finden werden.

Es zeigt sich also, dass „(BIM-)Kollisionsprüfung“ und „(Umwelt-)Konfliktanalyse“ nicht identisch sind, dass aber die Kollisionsprüfung ein wertvolles Mittel ist, die Ergebnisse der Konfliktanalyse für alle BIM-Beteiligten frühzeitig und systematisch zu kommunizieren um dann nach Lösungen zu suchen, mit denen die Konflikte besser vermieden, vermindert oder kompensiert werden können, als dies vor dem „BIM-Zeitalter“ der Fall war. Ein großer Gewinn also, trotz immer noch verbleibender Verluste.

Mikroklimaerfassung mit Drohnen zur habitorientierten Reptilienkartierung -

Diplom-Landschaftsökologe Falk Ortlieb



Traditionell erfolgt die Erfassung von Reptilen visuell im Gelände (Ergänzung durch künstliche Verstecke). In Infrastruktur- und Großprojekten werden häufig Transekte oder Probeflächen untersucht. Die Referenzflächenmethode entstammt der forstlichen Standorterkundung bzw. Waldzustandsbewertung und ist bei Fauna- und Florauntersuchungen kritisch zu sehen, da hier von Probeflächen auf unzulässige Weise auf einen größeren Bezugsraum geschlossen wird.

Regelmäßig ist die Frage zu klären, welche Bereiche detailliert untersucht werden sollen und wo eine Potenzialabschätzung zur Klärung der artenschutzrechtlichen Fragestellungen ausreichend ist. Die Kartierarbeit vor Ort gestaltet sich zeit- und in der Folge auch kostenintensiv. Bei kleinen bzw. versteckt lebenden Objekten ist die Fehlerquote bezogen auf unentdeckte Populationen der Zielarten mitunter recht groß. Der gesetzliche Artenschutz macht es erforderlich alle Individuen und Vorkommen im Vorhabengebiet im Vorfeld zu erkennen bzw. deren Präsenz als worst-case Annahme zu berücksichtigen. Die Zielarten sind Schlingnatter, Zauneidechse, Smaragdeidechse (streng geschützt) zuzüglich der besonders geschützten Arten weisen häufig sehr mannigfaltige und flexible Habitatansprüche auf. Viele verschiedene Parameter bestimmen über die lokale Präsenz bzw. Absenz einer Art. Die Geschichte und der Zufall sowie der Austausch mit anderen Populationen sind tendenziell zu wenig berücksichtigte Faktoren bei faunistischen Potenzialabschätzungen.



Abbildung 1: Reptilien wie die Zauneidechse (*Lacerta agilis*) besiedeln wärmebegünstigte Standorte.



Als Grundlage für weitere Überlegungen eignet sich eine Biotopkartierung als Grundlage recht gut. Die Exposition der Fläche bzw. deren Teilflächen hat eine hohe Bedeutung für die Reptilien. Die Vernetzung mit anderen potentielle Vorkommen sowie das Vorhandensein eines Biotopmosaikes sind zu prüfen. Hierbei kann Erfahrung (Eminenz statt Evidenz) hilfreich sein. Der Weg zu einer zu einer evidenzbasierten Arbeitsweise kann erreicht werden, indem verschiedene Anstrengungen unternommen werden. Die Grundlagenforschung, der Vergleich von real bekannten Vorkommen mit unbesetzten Flächen. Sinnvoll in Großprojekten ist aus der Sicht des Autors die Kombination aus Potenzialabschätzungen und Stichprobenkartierungen. Ziel der vorgestellten Projekt Idee ist die Optimierung von Kartierungen bzw. faunistischen Potenzialabschätzungen in Habitaten, die ein Vorkommen von planungsrelevanten Arten vermuten lassen. Hintergrund des methodischen Ansatzes ist die Tatsache, dass Reptilien wärmebegünstigte Mikrostandorte besiedeln. Die flächenhafte Suche nach den Tieren erfolgt in der Praxis häufig nur stichprobenartig und ist teils recht zeitaufwendig. Stattdessen nimmt eine Drohne mit einer montierten Wärmebildkamera Daten der Erdoberfläche auf. Objektiv entscheidend für die Tiere und als Vergleichsgröße geeignet erscheinen die Temperaturen zur Aktivitätszeit (April bis Mai). Die Daten werden in ein Geländetemperaurmodell überführt. Bekannte Vorkommen sowie Gebiete mit Negativnachweis werden mit den Temperaturmesswerten „korreliert“. Ziel sind Minimal- und Maximalwerte, die es erlauben, ein Vorkommen anzunehmen bzw. auf der Ebene ausschließen zu lassen. Ziel der Methode ist die Klärung der Frage in welchem Temperaturbereich Positivnachweise zu erwarten sind und in welchen dies auszuschließen ist. Die Methode erspart Zeit für Kartierungen im Felde auf großen Flächen und erhöht die Qualität der Potenzialabschätzungen und somit die Rechtssicherheit deutlich. Die Technik ist verfügbar (Drohne, Wärmebild-Kamera). Gleichzeitig trägt sie zur Erhöhung der ökologischen Grundlagenkenntnisse bei. Eine Vorhersage von möglichen Vorkommen wird somit evidenzbasiert möglich. Die Ergebnisse würden die „Vorhersage“ der Vorkommenswahrscheinlichkeit der Zielarten auf bislang unkartierten Flächen erlauben. Dies stellt die Basis zu Eingrenzung der Kartierflächen auf Landschaftsebene dar. Mithilfe von Wärmebildkameras an Drohnen könnten Standorte selektiert werden, welche für eine gezielte Nachsuche geeignet sind. Über Messungen der Boden Temperaturen könnten besetzte mit unbesetzten Standorten verglichen werden.

Auf diese Weise könnten zukünftig evidenzbasierte worst case- Analysen durchgeführt werden, die auf tatsächlichen Umweltparametern beruhen und nicht auf schwer überprüfbar Annahmen („Eminenz“). Nachteilig ist, dass die Schaffung eines statistisch belastbaren Datenbestandes (Modellierung) noch Zeit erfordert (Kosten) um die Methode auf Landschaftsebene zu erproben. Die Technologie für diese Idee liegt bereits vor. Einzig valide Datensätze scheinen derzeit noch nicht zu existieren. Gesucht werden Kooperationspartner und Finanzierungsmöglichkeiten um die Erprobung der Methode realisieren zu können.



Luftschadstofffassung mit der Drohne - Projekt MesSBAR

Julian Rüdiger – Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

Die Kenntnis über die Schadstoffkonzentrationen in der Luft ist wichtig, um Aussagen zur Luftqualität treffen zu können. Dazu zählt die Bestimmung der Massenkonzentration von Feinstaub (PM10) und Ruß (Black Carbon) sowie der Stoffmengenanteile der Stickoxide (NO, NO₂) und Ozon (O₃). Diese Luftschadstoffe werden sowohl von Landes- als auch Bundesbehörden deutschlandweit stationär gemessen und anhand von Modellen vorhergesagt. Auch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) betreibt an den Autobahnen A555 bei Wesseling und A4 bei Bensberg Messquerschnitte mit jeweils 2 Messstationen, um verkehrsnah Schadstoffkonzentrationen zu messen.

Um die Lebensqualität der Menschen zu sichern und stetig zu verbessern, ist die Senkung der Schadstoffbelastung in der Luft notwendig. Stationäre und kontinuierliche Messungen ermöglichen es daher, die Einhaltung von Grenzwerten zu überwachen. Um jedoch ein umfangreicheres Bild der Schadstoffbelastung in urbanen Räumen zu erhalten, sind mobile Messungen ein wichtiges und, unverzichtbares Werkzeug. Der Einsatz von Immissionsfahrzeugen bis hin zu Fahrradmessungen bzw. Messrucksack ermöglicht dabei die Begutachtung der Luftqualität in der Fläche. Dabei fehlt jedoch weiterhin die Information über die vertikale Schadstoffverteilung, die für den Transport und die Modellierung räumlicher Verteilungen von Schadstoffen von großer Bedeutung ist.

Im Projekt MesSBAR (Automatisierte luftgestützte Messung der Schadstoffbelastung in der erdnahen Atmosphäre in urbanen Räumen – Start: 10/2019) ist es daher möglich mit dem Einsatz von Drohnen (Multicoptern), bei überschaubarem Aufwand Vertikal- sowie Horizontalprofile der Schadstoffbelastung zu messen. Durch die breite Verfügbarkeit und stetige Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Drohnen, wurden diese in den letzten Jahren in zahlreichen Studien und Anwendungen für Luftqualitätsmessungen verwendet. Dabei lag der Fokus größtenteils auf Machbarkeitsstudien sowie dem experimentellen Einsatz. Das Projekt MesSBAR hat sich zum Ziel gesetzt, die Lücke hin zu routinemäßigen Messungen mittels Drohnen zu schließen. Dafür werden drei autonom operierende Quadrocopter entwickelt, die hoch-automatisiert und ohne permanente wissenschaftliche Überwachung Luftschadstoffe messen werden. Das MesSBAR-Projektkonsortium setzt sich zusammen aus Forscherinnen und Forschern von sieben Institutionen:

Institut für Flugführung der TU Braunschweig (TUBS)
Leichtwerk Research GmbH (LWX)
Leibniz-Institut für Troposphärenforschung (Tropos)
Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)
Forschungszentrum Jülich (FZJ)
Umweltbundesamt (UBA)
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

Der Quadrocopter (Abb. 1) hat eine maximale Abflugmasse von 25 kg und Dimensionen von 1650 mm x 1650 x 345 mm (LxBxH). Um eine möglichst lange Flugzeit bei vorgegebener Abflugmasse zu erzielen ist es notwendig eine ausgewogene Balance zwischen Zuladungsmasse der Sensorik und der Batterien zu erreichen. Daher wurde bei Auswahl der Sensorik der Fokus auf eine möglichst hohe Messqualität bei möglichst geringem Gewicht gelegt. Hierzu wurden für Feinstaub, Ruß und Ozon kommerziell verfügbare Handheld-Systeme ausgesucht, die diesen Anforderungen entsprechen. Für die Messung von Stickoxiden erfüllt kein kommerziell verfügbares System die Ansprüche an die Gewichtsbeschränkung. Daher wird am FZJ ein System entwickelt, charakterisiert und in Zusammenarbeit mit der PTB validiert, das elektrochemische Sensoren zur Bestimmung von Stickoxiden und CO verwendet.



Abbildung 1: Illustration des Prototyps der Schadstoff-Drohne (Leichtwerk Research GmbH) am Messquerschnitt A555

Die auf den Coptern zum Einsatz kommenden Handheld-, bzw. Mid-Cost-Instrumente sind im Gegensatz zu stationären Messgeräten stärkeren Umwelteinflüssen ausgesetzt und müssen daher einer umfangreichen Qualitätssicherung hinsichtlich ihrer Messdaten unterzogen werden. Dabei ist die Charakterisierung unter verschiedensten Laborbedingungen genauso wichtig wie die Begutachtung im Feldeinsatz. Hierfür wird die Drohnen-Sensorik simultan zu eignungsgeprüften Instrumenten an einer Messstelle der BAST direkt betrieben und überwacht. Erste Ergebnisse dieser Vergleichsmessungen zeigen eine grundsätzlich gute Übereinstimmung der Daten von Handheld- und eignungsgeprüften stationären Systemen.

Die ersten Testflüge sind für den Anfang des Jahres 2021 geplant, denen im Verlauf des Jahres dann Intensivmesskampagnen an der A555 und im Stadtgebiet Dresden folgen sollen.

Vorstellung des Projektes Artenspürhunde am Beispiel der Zauneidechse

1. Artenschutz auf Grundlage des Bundesnaturschutzgesetzes

Die Vorgaben des Bundesnaturschutzgesetzes erfordern die Beachtung des Artenschutzes bei Instandhaltungs- und Baumaßnahmen der DB Netz AG. Das betrifft nicht nur Infrastrukturmaßnahmen nach § 18 Allgemeines Eisenbahn Gesetz, sondern auch Projekte ohne planrechtliches Zulassungsverfahren.

Das heißt: Geschützte Tiere, wie die Zauneidechse, und deren Lebensstätten dürfen nicht willkürlich getötet, zerstört oder gestört werden. Um die Rechtssicherheit bei Instandhaltungs- oder Baumaßnahmen zu wahren, gibt es zwei Möglichkeiten: Es ist in deren Planung entweder ein sogenannter „Negativ“-Nachweis zu erbringen oder es muss angegeben werden, wo die Zauneidechse und deren Lebensstätten vor Ort sind, um geeignete Vermeidungsmaßnahmen zu treffen.

2. Ausgangslage Artenkartierungen

Die herkömmliche Methode zum Erfassen der Zauneidechse ist „visuell“: Ein Mensch begeht das Gelände und hält Ausschau nach den Individuen bzw. deren Spuren, Bauten, etc. (Abbildung 1).

Aber: Der Mensch ist mit seinen Sinnen bei hoher Vegetation, bei verwinkelten, nicht einseharen Bauwerken limitiert, um Wildarten aufzuspüren, die gut getarnt sind. Er ist ebenfalls limitiert, wenn Tiere zu bestimmten Jahreszeiten, Tageszeiten und Wetterbedingungen inaktiv sind und nicht erscheinen. Der Mensch kann bestimmte Lebensstätten von Tierarten nur vermuten (z. B.: Eiablageplätze von Reptilien), aber nicht feststellen. Daher ist der Mensch beim Ausschließen oder Erfassen von Zauneidechsen oft zu ungenau, zu ergebnisoffen – und er benötigt methodenbedingt sehr lange, um zu einem Ergebnis zu kommen: bis zu einem Jahr und länger.

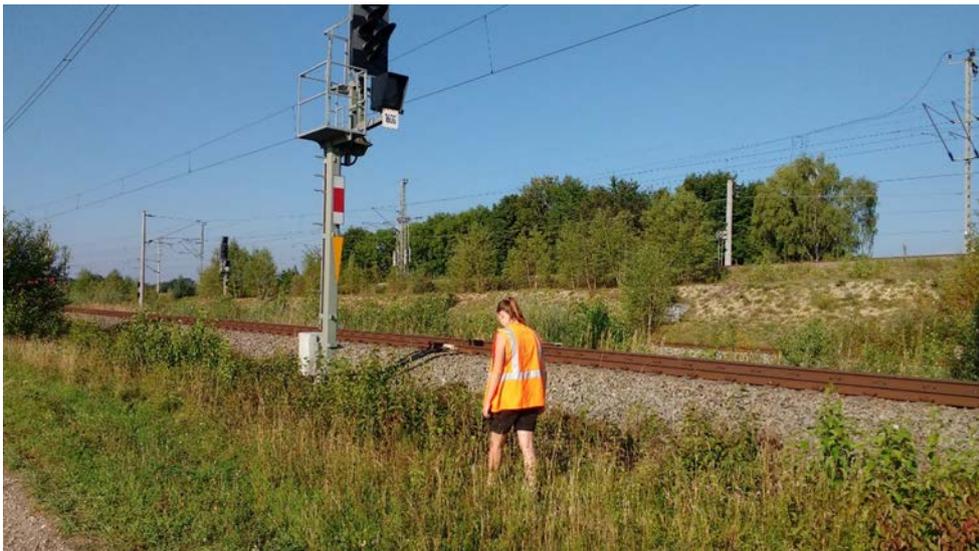


Abbildung 1: herkömmliche Erfassungsmethode der Zauneidechse. Foto: Lisa Zeller/DB Netz AG

Das wiederum führt zu langen, ergebnisoffenen Behördenabstimmungen. Die Behörden haben aufgrund ihrer Entscheidungsprärogative die Entscheidungshoheit und entscheiden oftmals den sogenannten „worst case“. Das heißt, die Behörden nehmen auf Grund der

Expertenmeinung des Kartierers an, dass sich geschützte Tiere oder deren Lebensstätten vor Ort befinden, auch wenn dieser die Tiere selbst nicht gesehen hat. Mit Blick auf die laufende Verschärfung der Umweltgesetze, müssen Vorhabensträger daher Folgemaßnahmen zum Schutz der Tiere grundsätzlich einkalkulieren. Dies können neben Ausgleichsmaßnahmen beispielsweise auch Bauzeitenverschiebungen sein.

Ein weiteres generelles Problem bei Artenkartierungen: Kartiererergebnisse verschiedener Vorhabenträger werden in keiner zentralen Datenbank gespeichert, die für zugänglich ist.

3. Unterstützung der Artenkartierung durch die Methode Hund und Datenbank

3.1. Methode Artenspürhunde

Um die herkömmliche Methode zum Erfassen der Zauneidechse zu ergänzen, bietet es sich an, die olfaktorischen Fähigkeiten des Hundes einzubeziehen: Der Hund hat einen extrem gut ausgeprägten Geruchssinn und kann zudem Geruchsquellen exakt verorten (Abbildung 2). Diese Überlegenheit macht sich der Mensch vielfach zu Nutze, beispielsweise indem er Hunde für die Suche nach Minen und Sprengstoff einsetzt. Der Einsatz von Artenspürhunden ist in anderen Ländern bereits vielfach etabliert. Wo der Mensch aufgrund der überwiegend visuellen Erfassung der Artgruppen limitiert ist, soll der speziell ausgebildete Artenspürhund aufgrund seiner olfaktorischen Fähigkeiten den Menschen unterstützen. So könnte der Hund mit seiner feinen Nase die Zauneidechse in ihren Tagesverstecken und Fortpflanzungs- sowie Winterquartieren erfassen – und den Menschen dort, wo er bisher „blind“ ist, unterstützen. Aussagen zum Vorkommen der Zauneidechse ließen sich so schnell und verlässlich treffen.



Abbildung 2: Artenspürhund bei der Suche. Foto: Frank Schubotz/DB Netz AG

3.2. Methode Datenbank

Kartiererergebnisse lassen sich umso effizienter nutzen, je verfügbarer sie sind. Ein aus unserer Sicht vielversprechender Ansatz ist es daher, sie in einem digitalen Viewer und einer Datenbank für möglichst viele Akteure zugänglich zu machen. Kartiererergebnisse behalten über Jahre hinweg ihre Gültigkeit. Mit Viewer und Datenbank stehen sie auch bei Projektverschiebungen oder später stattfindenden Projekten zur Verfügung. Hierdurch wird sowohl ein Gesamtüberblick der Artensituation für jedermann generiert, als auch vermieden, dass Gebiete bereits kartierte Gebiete erneut kartiert werden.

3.3. Umsetzung der Methoden

Das Konzept, Artenspürhunde bei Baumaßnahmen einzusetzen, ist neu und beinhaltet:

- Die Einführung der „Kartiermethode Artenspürhunde“, die von den Behörden akzeptiert werden muss und die den Empfehlungen für einheitliche Vorgaben, Methodik, Inhalt und Dokumentation von Monitoring-Maßnahmen im Rahmen des Planungsbeschleunigungsgesetzes entspricht
- Einen Nachweis der erforderlichen Fachkenntnisse durch den Hundeführer als qualifizierten Artenkartierer, um das Anzeigeverhalten des Hundes einordnen zu können.
- Die Darstellung der Kartierungen in einer Datenbank, die im Rahmen der „Strategie Planungsbeschleunigung“ des BMVI gefordert wird.

4. Mögliche Einsatzgebiete des Artenspürhundes

Die Einsatzgebiete der Artenspürhunde müssen eindeutig definiert werden. So wird zum Beispiel eine Einschätzung der Abundanz der Zauneidechse schneller und genauer durch den Menschen erfolgen. Im Gegensatz dazu ist der Artenspürhund beim Absenznachweis eine wertvolle Ergänzung zur Arbeit des menschlichen Kartierers.

Für die Umsetzung der Methode Hund werden Methodenblätter analog zu denen der herkömmlichen Erfassungsmethoden (Albrecht et al.) entwickelt, die mit den Fachbehörden abgestimmt werden. Aus den Methodenblättern gehen die Durchführung, die Einsatzgebiete, Kartierzeitraum, sowie die Grenzen der Methode Hund für die jeweilige zu erfassende Art hervor. Diese Methodenblätter sind Hilfestellung für eine allgemeine Einführung der Methode Hund, über die DB Netz AG hinaus, die einer Zustimmung der Entscheidungsträger bedürfen.

Folgende Einsatzgebiete wurden in den Methodenblättern für den Artenspürhund im Zusammenhang mit der Zauneidechse definiert:

Erfassung und Bestimmung der Zauneidechse und deren Lebensstätten über den Geruch der Individuen und „Material“ wie Kot, Haut, Eischalen, tote Individuen, etc., sowohl in der Aktivitätszeit als auch während der Überwinterungszeit.

Der Artenspürhund sucht die vom Kartierer vorgegebene Fläche/ Struktur mit der Nase ab und zeigt über ein antrainiertes festgelegtes Anzeigeverhalten den Zielgeruch an.

Einsatzgebiete:

- Präsenz-/ Absenz-Nachweis
- Auffinden von Lebensstätten (Winterquartier/Eiablagefläche)

Die Grenzen der Methodik sind von der Ausbildung des Artenspürhundes abhängig. Der eingesetzte Artenspürhund kann nur für Arten/-gruppen eingesetzt werden, für die er behördlich anerkannt geprüft wurde.

5. Projektstand bei der DB Netz AG

Seit April dieses Jahres absolvieren bei der DB Netz AG sechs Hunde eine Ausbildung zum Artenspürhund. Für ihre Hundeführer stehen unter anderem Bauabläufe, die Biologie der Zauneidechse, das Kartieren der Zauneidechse ohne Hund und sicheres Arbeiten am Gleis auf dem Lehrplan. Parallel dazu lernen die Hunde neben der Zusammenarbeit mit dem Menschen den Geruch der Zauneidechse kennen und diese im Rahmen einer Flächensuche anzuzeigen.

Ebenfalls seit April 2021 läuft die Entwicklung einer Artendatenbank zur zentralen Ablage von Kartierdaten.

Ziel ist es, dass die Artenspürhunde gemeinsam mit ihren Hundeführern nach erfolgreichem Absolvieren des Lehrgangs für Maßnahmen bei der DB eingesetzt werden können. Die Kartierdaten der Hund-Mensch-Teams sollen zentral in der Datenbank gespeichert werden.



Citizen-Science-Veranstaltungen zur Erfassung des Artenspektrums (Bioblitze)

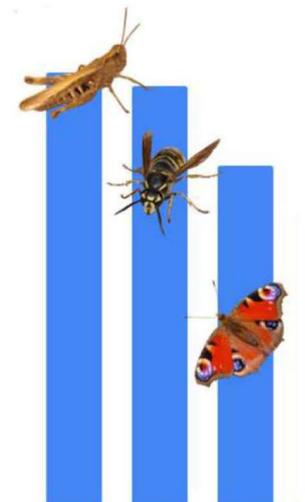


Online, 30. Oktober 2020

Warum Citizen Science?

*Motivationen der Projektbetreiber*innen*

- Beobachter*innen gewinnen
Möglichst viele ausreichend kompetente Menschen für eine Teilnahme am Projekt zu gewinnen, ist häufig das Hauptziel
- Vergrößerung der Datenbasis
Mittels Aktivierung möglichst vieler Interessierter ist eine teils erhebliche **Vergrößerung der Datenbasis** möglich
- Ggf. regelmäßige Teilnahme
Bei wiederkehrenden Aktionen oder solchen mit längerer zeitlicher Dauer wird **regelmäßige Teilnahme** der Interessierten angestrebt



Warum Citizen Science?

Motivationen der Teilnehmer*innen

- **Positive Empfindungen**
Weil sie das **Naturerlebnis schätzen** (~44 %) und weil es ihnen **grundsätzlich Spaß macht** (~31 %), beobachten Menschen die Natur*
- **Wissenserwerb**
Auf Naturexkursionen möchten ~64 % **ihr Wissen erweitern*** (Mehrfachnennungen möglich)
- **Projekte unterstützen**
Das **Unterstützen des Naturschutzes** (~39 %) und von **Forschungsvorhaben** (~18 %) ist vielen Menschen wichtig* (Mehrfachnennungen möglich)



© Kenneth Schulze/Pixabay

* Quelle: Motivationsbefragung 2020 von naturgucker.de

Interessierte einbeziehen

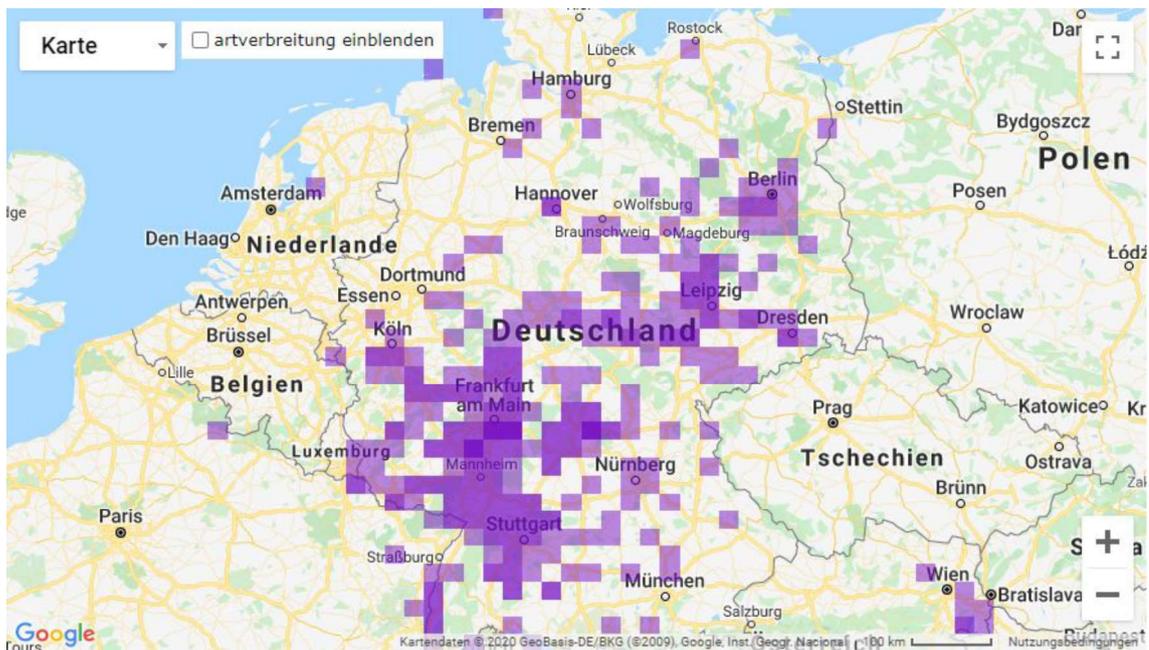
Vorteile von Citizen Science

- **Aufmerksamkeit schaffen**
Arten(gruppen) und Themen rücken in den Fokus und gewinnen durch eigenes Mitmachen an Bedeutung
- **Begeisterung wecken**
Eines konkreter Auftrag kann kann ggf. **langfristige Begeisterung für ein Thema** wecken
- **Betätigungsfeld bieten**
Teilnehmer*innen können sich selbst **aktiv einbringen**
- **Vergrößerung der Datenbasis**
Zielgerichtete Kommunikation vorausgesetzt, lässt sich die **Datenbasis erheblich vergrößern**



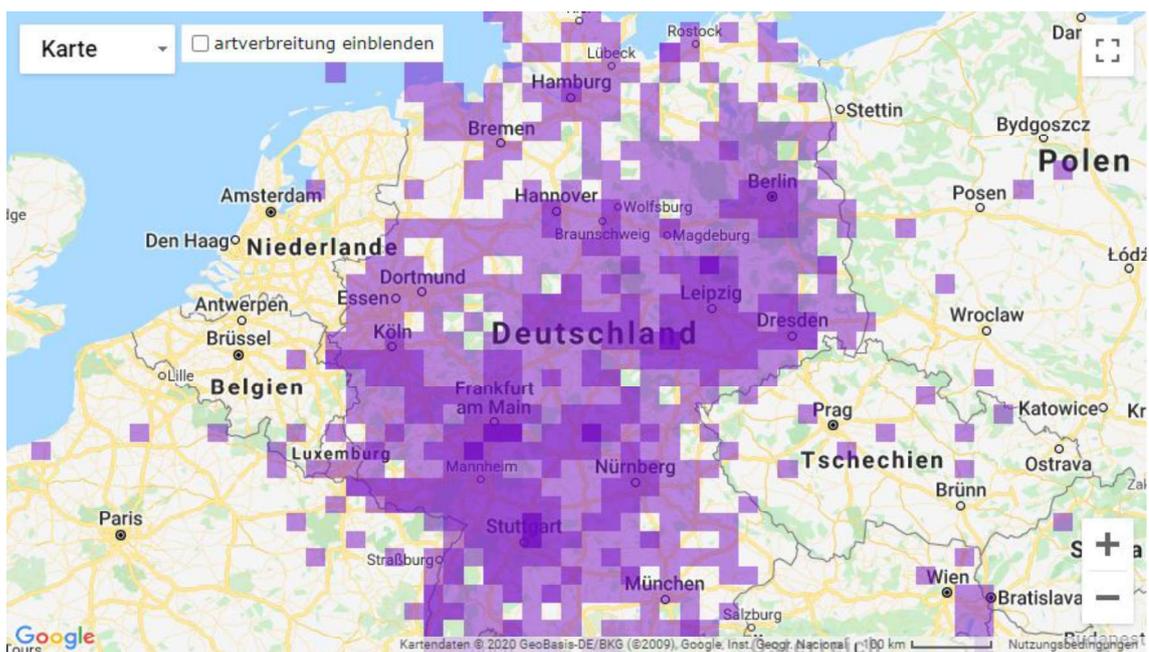
© Birgit Emig/naturgucker.de

Daten Blaue Holzbiene



Beobachtungen bis 31.05.2018

Daten Blaue Holzbiene



Beobachtungen bis heute

Projekttypen

✓ Bioblitz

Projekt, bei dem in einem bestimmten Zeitraum (**meist 24 Stunden**) in einem **festgelegten Gebiet** Arten erfasst werden, wobei oft nach mehr oder minder strikten Vorgaben vorgegangen wird

✓ Beobachtungsaufruf

Projekt, bei dem zu bestimmten Zeiten (**häufig jahreszeitlich bedingt**) Arten in einem **festgelegten Gebiet** erfasst werden sollen, wobei die Vorgaben weniger strikt sein können

! Monitoring

Projekt, bei dem über einen längeren Zeitraum (**häufig min. 1 Jahr**) oft in einem **festgelegten Gebiet** Arten erfasst werden, meist nach strikten Vorgaben

✓ Generelles Melden

Oft kein eigentliches Projekt, Beobachtungen können **immer** und von **überall** gemeldet werden, häufig ohne strikte Vorgaben

Bioblitze

Chancen

- Geringer (zeitlicher) Aufwand
Niedrige Hürden für das Einbinden der Aktivitäten in die persönliche Alltagsplanung
- Lenkung des Interesses
 Durch begleitende Kommunikationsmaßnahmen ist es möglich, spezielle Themen **in den Fokus zu rücken**
- Kurzfristiger Datengewinn
 Bei gut konzipierter Kommunikation lassen sich oft **kurzfristig relativ große Datenmengen** gewinnen



Bioblitze

Grenzen/Herausforderungen

- Wissensbarriere
Ggf. hat die Zielgruppe **zu geringes Artenwissen**
- Mangelnde nachhaltige Interessenspflege
Teilnehmende haben in der Folge keine Aufgabe mehr und könnten das **Interesse wieder verlieren**
- Hohe Abhängigkeit von äußeren Faktoren
Erfolg von Kurzzeitaktionen hängt z. B. stark vom **Wetter** ab
→ GEO-Tag der Artenvielfalt 2016 (Wahner Heide/NRW) blieb wegen Regen und Kälte stark hinter Erwartungen zurück
- Begrenzte Datenmenge
Datensätze sind **schlaglichtartig**; für viele Fragestellungen werden stattdessen **umfassendere Daten** benötigt



Langfristige Projekte

Chancen

- Bindung der Aktiven
Kontinuierlich bestehende Aufgabe ermöglicht Bindung der Aktiven an Projekte; Begeisterung aufrecht erhalten
- Höhere Flexibilität und Souveränität
Die Aktiven können **flexibel selbst entscheiden**, wann und ggf. wo sie Daten sammeln
- Daten aus längeren Zeiträumen
Je nach zeitlicher Befristung ist die Gewinnung **umfangreicher Langzeitdaten** möglich
- Weit verteilte Daten
Räumlich weit gefasste Datenerhebung ist möglich



© M W/Pixabay

Langfristige Projekte

Grenzen/Herausforderungen

- **Wissensbarriere**
Ggf. hat die Zielgruppe **zu geringes Artenwissen**, es kann jedoch durch Aufklärung ausgeweitet werden
- **Nachhaltige Interessenspflege aufwendig**
Aktive sollten **gepflegt werden**, dabei helfen zielgerichtete Kommunikationsmaßnahmen
- **Daten eventuell "zufällig"**
Für einige Fragestellungen können die Daten **zu zufällig** sein, was Ort und Zeit der Erhebung angeht



Datennutzung

Plausibilisierung durch Datennutzer*innen

- **Individuell plausibilisieren**
Plausibilisierung der Beobachtungsdaten **vor dem Hintergrund der Fragestellung durch die Datennutzer*innen** ist einzig sinnvoll
- **Allgemeine Plausibilisierung potenziell manipulativ**
Werden alle Beobachtungen pauschal plausibilisiert, könnte dies die **Datensätze korrumpieren**
- **Von Laien erhobene Daten besser als ihr Ruf**
Teilnehmer*innen handeln meist **sehr sorgfältig** und melden häufig nur das, was sie gut kennen bzw. zu kennen glauben
- **Statistische Relevanz von Fehlern prüfen**
In großen Datensätzen sind einige wenige Fehlbestimmungen oft **statistisch nicht relevant**

Vielen Dank fürs Zuhören!

g.schulemann-maier@naturgucker.de

Block G: Innovative nichttechnische Erfassungen

G.3 Planungsansätze auf höheren Skalen

Marie Grimm, Fachgebiet Umweltprüfung und Umweltplanung, TU Berlin

marie.grimm@tu-berlin.de

1. Einführung

Dieser Beitrag stellt strategische („landscape-scale“) Planungsansätze für Eingriffe und Kompensation im Artenschutz vor. Diese Ansätze verfolgen das Ziel Konflikte auf höheren Skalen zu lösen, um diese auf Projektebene zu vermeiden. Um dieses Ziel zu erreichen, wird die Maßnahmenhierarchie mithilfe von übergreifenden Naturschutzplänen angewandt (vgl. Kiesecker et al. 2009, Tallis et al. 2016, Grimm et al. 2019). Dabei sollen künftigen Vorhaben frühzeitig und strategisch geplant werden und auch frühzeitig auf Basis übergeordneter Naturschutzziele identifiziert werden, wo vergleichsweise gut geeignete Artenschutz-, Eingriffs- und Kompensationsflächen liegen. In den USA wird „landscape-scale mitigation“ im Falle artenschutzrechtlicher Ausnahmegenehmigungen unter dem Endangered Species Act angewandt. Dabei können diese Planungen von einem einzelnen Vorhabenträger oder von mehreren Vorhabenträgern gemeinsam vorgenommen werden. Erwartete Vorteile sind bspw. beschleunigte Planungsprozesse auf Projektebene, vorgezogene und gebündelte Maßnahmen und verbesserte Habitatkonnektivität (vgl. Sciara et al. 2015, 2017, Kiesecker et al. 2010, Saenz et al. 2013).



Abbildung 1 Planung auf höheren Skalen (eigene Abbildung)

Zu erfolgreichen Umsetzung dieser strategischen Planungsansätze stellen Grimm et al. (2019) folgende Anforderungen zusammen:

Generelle Anforderungen	<ul style="list-style-type: none">• Einhaltung der Maßnahmenhierarchie und des Vermeidungsgebots• Nutzung regionaler Pläne oder Naturschutzziele
Kompensationsspezifische Anforderungen	<ul style="list-style-type: none">• Strategische Flächenwahl• Maßnahmenbündelung• Vorgezogene Wirksamkeit
Institutionelle Voraussetzungen	<ul style="list-style-type: none">• Kooperation relevanter Akteure• Behördliche Aufsicht und transparentes Monitoring

Tabelle 1 Anforderungen an strategische Planungsansätze (Grimm et al. 2019)

Im Folgenden werden einige U.S. amerikanische Instrumente mit Hinblick auf Ihre Erreichung der o.g. kompensationspezifischen Anforderungen erläutert.

2. Instrumente zur Umsetzung strategischer Planungsansätze

„**Regional Habitat Conservation Plans**“¹ (RHCPs) fungieren im US-amerikanischen Artenschutz als ein Dokument zum Erhalt einer Ausnahmegenehmigung. Voraussetzung ist dabei keine Gefährdung der weiteren Existenz geschützter Arten („no jeopardy of continued existence“). Entwickelt werden sie auf regionaler Ebene von einem oder mehreren Vorhabenträger für 20-50 Jahre und haben dabei eine oder mehrere Arten im Fokus („multi-species“ Plan). Die oft langwierige Planung soll zu Planungsbeschleunigung durch vorgezogene Maßnahmen und Ausnahmegenehmigungen führen. Ein RHCP identifiziert Gebiete mit Arten-/Naturschutz- und Entwicklungsfokus und beschreibt die voraussichtliche Wirkung des Verbotstatbestandes, wie diese Wirkungen vermindert und kompensiert werden und wie strategisch geplanten Maßnahmen finanziert werden. Einige RHCPs werden durch eigens eingesetzte Behörde umgesetzt, die u.a. die Maßnahmen vorgezogen und gebündelt umsetzen und dafür von Vorhabenträgern innerhalb des Plans eine Gebühr für deren Projektzulassung verlangen. Ein Beispiel hierfür ist der von der Santa Clara Valley Habitat Agency² umgesetzte RHCP: Dieser Plan hat 50 Jahre Gültigkeit und beinhaltet Ausnahmegenehmigung für bspw. Wohngebiete, Transportinfrastruktur (Straße, Schiene) und Freizeiteinrichtungen. An der Planung waren zahlreiche Kommunen sowie Verkehrs- und Wasserbehörden beteiligt. Die Umsetzung der Maßnahmen durch die RHCP-Behörde erfüllt die Anforderungen der strategischen Flächenwahl, Maßnahmenbündelung und vorgezogenen Wirksamkeit. Für RHCPs ohne eigene Behörde zur Umsetzung von Maßnahmen bieten „**Conservation Banks**“³ ein vielversprechendes Instrument. Diese existieren auch in Regionen ohne RHCPs und basieren dort ihre Flächenwahl für Kompensationsmaßnahmen auf Artenschutzplänen („recovery plans“). „Conservation Banks“ sind eine Art Maßnahmenpool im Artenschutz (vgl. Geißler & Köppel 2012): Sie gehören in den USA oft privaten Unternehmen, die Flächen dauerhaft schützen und für bestimmte Zielarten instandhalten oder aufwerten. Dabei gibt es (besonders im Bundesstaat Kalifornien) sehr strikte Auflagen⁴ für den Bank-Genehmigungsprozess und die langfristige Finanzierung. Auch „Conservation Banks“ bieten meist strategisch platzierte, vorgezogene und gebündelte Kompensationsmaßnahmen an, für die sie von der Naturschutzbehörde „Credits“ erhalten, die sie dann in einem festgelegten Verbreitungsgebiet der Zielart(en) an Vorhabenträger verkauft (Grimm 2020).

3. Ausblick

Strategische Planungsansätze bringen einige Vorteile, wie standardisierte Prozesse, klare Anforderungen an Vorhabenträger, Möglichkeit der Betrachtung kumulativer Effekte und möglicherweise verbesserte Naturschutzplanung, mit sich. Doch bilden die Komplexität, Rahmensetzung, Datenverfügbarkeit, Kosten sowie die Anforderung an Kooperation und transparentes Monitoring auch Hürden. Nichtsdestotrotz wäre eine Erprobung solcher Ansätze auch in Deutschland spannend: Artenschutzkonflikte auf Projektebene könnten möglicherweise vorweggenommen werden. Die Vorschläge der Umwelt- und Energieverbände für Artenschutzprogramme⁵ bieten erste Anreize zu diesem Thema. Des Weiteren könnte zur Maßnahmenumsetzung an Poolösungen und Erfahrungen aus der Eingriffsregelung angeknüpft werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es zur Umsetzung vorgezogener, gebündelter FCS-Maßnahmen durch Pools oder auch durch „große“ Vorhabenträger selbst Ausnahmegenehmigungen bedarf. Diese Ansätze gilt es weiter zu diskutieren und in ersten Pilotprojekten zu erproben.

¹ <https://www.fws.gov/endangered/what-we-do/hcp-overview.html>

² <https://scv-habitatagency.org/>

³ https://www.fws.gov/endangered/esa-library/pdf/conservation_banking.pdf

⁴ <https://www.fws.gov/sacramento/es/Conservation-Banking/>

⁵ https://www.bdew.de/media/documents/Stn_20190903_10-Punktefuer-Ausbau-Windenergie-Verbaende.pdf und <https://www.nabu.de/imperia/md/content/nabude/energie/wind/200130-thesenpapier-windenergieausbau.pdf>

Literatur

Geißler, G., Köppel, J. (2012): Upside down – Weiterentwicklung von US-amerikanischen Konzepten zur naturhaushaltlichen Kompensation: Wetland Mitigation und Conservation Banking. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 44(12), 364–370.

Grimm, M. (2020). Conserving Biodiversity through Offsets? Findings from an Empirical Study on Conservation Banking. *Journal for Nature Conservation*, 125871.

Grimm, M., Köppel, J., Geißler, G. (2019): A Shift Towards Landscape-Scale Approaches in Compensation - Suitable Mechanisms and Open Questions. *Impact Assess Project Appraisal*. 37(6), 491-502.

Kiesecker, J.M., Copeland, H., Pocewicz, A., McKenney, B. (2010): Development by design: Blending landscape-level planning with the mitigation hierarchy. *Front Ecol Environ*. 8(5), 261–266.

Kiesecker, J.M., Copeland, H., Pocewicz, A., Nibbelink, N., McKenney, B., Dahlke, J., Holloran, M., Stroud, D. (2009): A framework for implementing biodiversity offsets: Selecting sites and determining scale. *BioScience*. 59(1), 77–84.

Saenz, S., Walschburger, T., González, J., León, J., McKenney, B., Kiesecker, J. (2013): A framework for implementing and valuing biodiversity offsets in Colombia: A landscape scale perspective. *Sustainability* 5(12), 4961–4987.

Sciara, G.C., Bjorkman, J., Stryjewski, E., Thorne, J.H. (2017): Mitigating environmental impacts in advance: Evidence of cost and time savings for transportation projects. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 50, 316–326.

Sciara, G.C., Stryjewski, E. (2015): Saving money when safeguarding species and habitats: Conventional vs. advance land acquisition for transportation mitigation. *Research in Transportation Economics* 52, 100–110.

Tallis, H., Kennedy, C.M., Ruckelshaus, M., Goldstein, J., Kiesecker, J.M. (2016): Mitigation for the people: an ecosystem services framework. In: Geneletti D., (Hrsg., 2016): *Handbook on biodiversity and ecosystem services in impact assessment*. Edward Elgar Publishing, Cheltenham (UK), 397–427.