

Abschlussbericht zum Programm Innovative regionale Wachstumskerne mit WK Potential des BMBF

Thema

Drahtlose Sensornetze zur Verbesserung des Umweltmonitoringsystemen

Kurzname: „Sens4U“

Zuwendungsempfänger: BIOM (Büro für Landschaftsökolog. Gutachten und biologische Studien
Martschei)

Förderkennzeichen: 03WKP26C

Vorhabenbezeichnung: Drahtlose Sensornetze zur Verbesserung des Umweltmonitorings,
Teilvorhaben

Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2012 - 31.06.2014

Berichtszeitraum: 01.04.2012 - 31.06.2014

Autoren: Dipl.-Biol. T. Martschei
Uwe Rexin

Datum: 12.12.2014

Inhaltsverzeichnis

Seite

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	4
1 Kurze Darstellung	5
1.1 Aufgabenstellung	5
1.2 Voraussetzungen	6
1.3 Planung und Ablauf des Teilvorhabens	8
1.4 Stand von Wissenschaft und Technik	8
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	11
2 Eingehende Darstellung	12
2.1 AP 1: Spezifikation der PT-Architektur	12
2.2 AP 2: Requirements Engineering für Umweltmonitoring-Anwendungen	15
2.3 AP 6: Demonstrator	23
2.4 AP 7: Demonstrator	28
3 Notwendigkeit und Angemessenheit der Leistung	47
4 Voraussichtlicher Nutzen	48
5 Ergebnisse von dritter Seite	49
6 Veröffentlichungen des Ergebnisses	49
7 Referenzen	50

Abbildungsverzeichnis

Seite

Abbildung 1:	Sensorknoten & Sensoren	7
Abbildung 2:	Sensorknoten; Sensoren im Einsatz in einem Brutbaum bei Löcknitz (Vorpommern).....	7
Abbildung 3:	Hoch- und 4. Tiefpass (ca. 2. Ordnung)	24
Abbildung 4:	Richtmikrofon SPY-LIZER mit Zubehör (Körperschallmikrofon und externes Mikrofon)	29
Abbildung 5:	Lage und Draufsicht auf das Stabsgebäude	30
Abbildung 6:	Aussenansicht des Stabsgebäudes.....	31
Abbildung 7:	Kamera2000 1080P Outdoor Array IR 50M IP Kamera Netzwerkkamera	32
Abbildung 8:	LupusNET LE933 (Alternative nach Defekt der Kamera2000).....	32
Abbildung 9:	Einbau/Wechsel SD-Karte	33
Abbildung 10:	Testaufnahme	35
Abbildung 11:	Testaufnahmereihe 1	36
Abbildung 12:	Testaufnahmereihe 2.....	36
Abbildung 13:	IR-Scheinwerfer	36
Abbildung 14:	Stridulationsmuster des Hirschkäfers (Laborversuch)	39
Abbildung 15:	unterschiedliche Erfassungstechniken: Graben sowie Technik für akustische Erfassung.....	39
Abbildung 16:	Unterführungen.....	41
Abbildung 17:	Planung der Verteilung der Kameras an den Unterführungen1 und 2	41
Abbildung 18:	Planskizze zum Erfassungsaufbau.....	42
Abbildung 19:	Kamerahalterungen am Standort Demonstrator-2, Brücke Jarmen.....	43
Abbildung 20:	Messschaltung Sender und Empfänger.....	43
Abbildung 21:	Sensorknoten mit Fotofalle.....	44
Abbildung 22:	Beginn Übertragung Messwerte.....	45
Abbildung 23:	Ende Übertragung Messwerte.....	45
Abbildung 24:	Stand Messung	46
Abbildung 25:	Koordinator Dr. K. Piotrowski mit dem Demonstrator 2 während der Abschlussveranstaltung (Quelle: Lausitzer Rundschau v. 25.07.2014)	47

Tabellenverzeichnis

Seite

Tabelle 1:	Partner des Vorhabens und ihre im Dokument verwendete Namenskürzel	11
Tabelle 2:	Arten der FFH-Richtlinie	13
Tabelle 3:	Anforderungen.....	14
Tabelle 4:	Übersicht über die technischen Anforderung und Umgebungsbedingung beim sensorgestützten Monitoring.....	17
Tabelle 5:	Akustische Erfassung	18
Tabelle 6:	Optische Erfassung	18
Tabelle 7:	Ergebnis der Generalisierung.....	19
Tabelle 8:	Fragen zu den relevanten Standortfaktoren	21
Tabelle 9:	Fragen zu den relevanten zeitlichen Faktoren	22
Tabelle 10:	Definition der Vorgaben von Daten für Beispielszenarium Amphibien Hühnerwasser	23
Tabelle 11:	Anforderungen an eine akustische Erfassung	26
Tabelle 12:	Anforderungen an eine optische Erfassung	27
Tabelle 14:	Technische Daten der zum Einsatz gekommenen Kameras	32
Tabelle 15:	Testergebnisse der Wildkamera.....	46

1 Kurze Darstellung

In dem folgenden Kapitel werden die Ziele und Voraussetzungen des Verbundvorhabens und die Ziele für den Partner BIOM dargestellt.

1.1 Aufgabenstellung

Ziel des Teilvorhabens war die Entwicklung einer generalisierten Methodik für die Auswahl eines speziellen, auf den konkreten anwenderbestimmten Einsatz zugeschnittenen Sensornetzwerkes. Diese Methodik wurde in enger Kooperation mit dem Lehrstuhl Hydrologie und Wasserwirtschaft der BTU Cottbus erarbeitet. Dabei entfiel auf die Firma BIOM die Evaluierung hinsichtlich biotischer Parameter im Rahmen von Langzeitüberwachungen (Monitoring) im umfassenden Bereich Umwelt. Als konkretes Anwenderszenario wurde der Bereich der Beobachtung der FFH-Arten ausgewählt.

Die Notwendigkeit eines solchen Instrumentes zur Überwachung von Umweltgrößen ergibt sich einerseits aus den gegenwärtig gesetzlich geltenden Rahmenbedingungen (bspw. 6-Jahresberichtspflicht NATURA 2000 von Deutschland an Brüssel) und andererseits aus der unzureichenden fachlichen Umsetzung der geltenden europäischen Gesetze aus finanziellen und personellen Gründen.^{1 2}

Um eine generalisierte Methodik realisieren zu können, war ein halbautomatischer Entwurfsprozess zu entwickeln, der die Anwendungs- bzw. Problembeschreibungen im Bereich des Umweltmonitorings in konkreten technischen Anforderungen überführte. Dabei wurden mehrere, unterschiedliche Anwendungsszenarien ohne eine anschließende konkrete technische Umsetzung zugrunde gelegt und auf Gemeinsamkeiten analysiert. Die dabei festgestellten Übereinstimmungen bildeten dann das Skelett der zu entwickelnden Methodik.

Der erste Arbeitsschritt bestand in der Zusammenfassung und Analyse der erforderlichen bzw. vom Gesetzgeber (Europa, Bund und Land) festgeschriebenen Langzeituntersuchungen. Dies schließt evt. auch Überwachungen im Bereich des Ausgleiches für Eingriffe in Natur und Landschaft ein³.

Daran anschließend wurden die geforderten spezifischen Messgrößen herausgearbeitet und die Möglichkeiten einer technischen Überwachung abgeschätzt. Die herausgefilterten Messgrößen und die technischen Rahmenbedingungen, die Gegenstand der Arbeitspakete der Verbundpartner waren, liefern zusammen die Grundlage für den Entwurfsprozess. Dabei wurde speziell nach allgemein gültigen Übereinstimmungen hinsichtlich der sich ergebenden technischen Anforderungen gesucht und diese möglichst generalisiert.

¹ Schumacher & Schumacher (2003)

² Eckerleben (2006)

³ § 44 BNatSchG

Es war zu erwarten, dass die Vielseitigkeit und der spezielle Charakter der fachlichen Anforderungen ein Zusammenfassen der technischen Parameter erschwert. Aus diesem Grund wurden alle bestehenden bzw. möglichen Anforderungen hinsichtlich einer Standardisierung eingehend geprüft. Im Einzelfall wurde eine Angleichung der Messwerterfassung im Sinne des angestrebten Baukastensystems in Erwägung gezogen.

Bei der Ausstattung des Standardbaukastensystems mussten neben den technischen Anforderungen (Standort, Anzahl der Messungen, Dauer der Messungen und der Überwachung, Art der Übertragung, Zusammenfassen von Einzelwerten etc.) auch spezielle Aspekte, die sich aus dem Einsatz in der Umwelt ergeben, berücksichtigt werden (Trittschäden, Wasserschäden, chemische Kontaminationen, Sonneneinstrahlung u.v.m.). Hier flossen die langjährigen Erfahrungen mit Monitoringprogrammen durch BIOM in die Entwicklung des Sensorknotens ein.

1.2 Voraussetzungen

Das Planungsbüro BIOM besitzt umfassende Erfahrungen in Langzeit-Monitoring-Projekten. Das Büro arbeitet in Mecklenburg-Vorpommern schon seit 2000 im Rahmen des Landesweiten Monitorings der Arten der Anhänge II und IV der FFH-Richtlinie bei der Erfassung und Einschätzung des Erhaltungszustandes der relevanten Arten aktiv mit. Im Auftrag von der Vattenfall Europe Mining AG wird seit 1999 ein umfangreiches Untersuchungsprogramm (Langzeitmonitoring u.a. von Spinnen und Laufkäfern in ausgewählten Feuchtgebieten im Umfeld der Tagebaue Jänschwalde und Cottbus-Nord) in der Lausitz (Brandenburg) betreut. Mit den verantwortlichen Mitarbeitern des Bergbauunternehmens werden in enger Zusammenarbeit die Auswirkungen der Grundwasserabsenkungen untersucht und Lösungen zur Vermeidung erheblicher negativer Wirkungen erarbeitet. Ziel ist die Minimierung der Wirkung des Abbauvorhabens auf Natur und Umwelt im Umfeld der Tagebaue. Durch eine naturverträgliche, langfristige Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft sollen zudem neue Lebensräume seltener und gefährdeter Pflanzen und Tiere geschaffen werden. Des Weiteren begleitet BIOM die Planungen für die Erschließung des Tagebaus Jänschwalde-Nord mit Untersuchungen zur Vegetation und zur Fauna.

In einer möglichst engen Zusammenarbeit mit Institutionen des Landes, wie z. B. den Universitäten, werden deren neuesten Erkenntnisse in Wissenschaft, Forschung und technischer Planung einbezogen. Das dort vorhandene Potential an neuesten, international anerkannten wissenschaftlich-technischen Erkenntnissen wird und wurde bereits in zahlreichen Projekten genutzt.

So wurde in enger Kooperation mit der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus, Fakultät 1, Lehrstuhl Verteilte Systeme/Betriebssysteme ein praxistauglicher Sensorknoten entwickelt, mit dem in den Höhlungen bzw. im Mulmkörper von Brutbäumen des Eremiten (ein auf europäischer Ebene geschützter Holzkäfer) vorherrschende Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse gemessen und langzeitüberwacht wurden. Die Meßfassungseinheit besteht aus einem Evaluationsboard für den Texas Instruments CC430, einer Kombination aus 16 Bit Mikrocontroller und einem Funkmodul,

welches im Sub-Gigaherzbereich arbeitet. Daran sind über Kabel, mit der am Einsatzort erforderlichen Länge, 2 Sensirion-Temperatur/Feuchtigkeitssensoren angeschlossen (s. Abb. 1 und 2). Diese Sensoren sind mit Sinterfiltern ausgestattet und die Erfassungseinheit ist wasserdicht verpackt, um sie vor Schäden durch Nässe (Kurzschlüsse etc.) zu bewahren. Die Software des Mikrocontrollers basiert auf dem Betriebssystem Reflex⁴, welches am Lehrstuhl Verteilte Systeme/Betriebssysteme⁵ der BTU Cottbus entwickelt wurde. Sie sammelt stündlich 4 Messwerte und speichert diese zusammen mit Datum und Uhrzeit. Die Daten können mit Hilfe eines speziellen USB-Funkadapters drahtlos mit einem Laptop o. Ä. vor Ort ausgelesen werden. In dreiwöchigem Abstand müssen die Batterien ausgewechselt werden, wodurch der zeitliche und personelle Einsatz nicht optimal und effektiv ist.

Im Zeitraum von Juni 2010 bis Juni 2011 waren drei Sensorknoten in Anwendung:

- Verdachtsbaum im NSG „Tauersche Eichen“: Eiche
- Umgesiedelter Verdachtsbaum Große Zoßna bei Werben: Eiche
- Brutbaum am Referenzstandort Hudeeichenwaldrest Löcknitz (Vorpommern): Eiche.



Abbildung 1: Sensorknoten & Sensoren

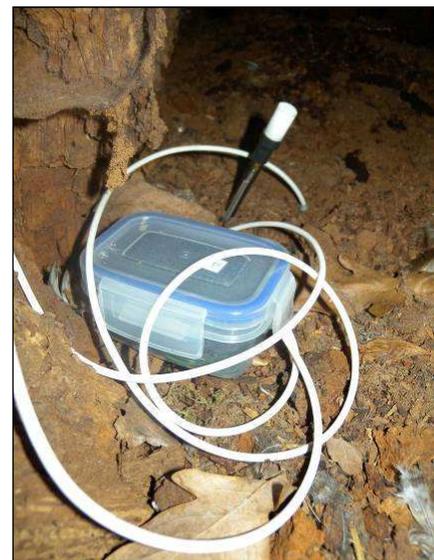


Abbildung 2: Sensorknoten;
Sensoren im Einsatz in
einem Brutbaum bei
Löcknitz (Vorpommern)

Es bestanden also bereits Erfahrungen mit der konkreten Anwendung von drahtlosen Sensorknoten⁶, jedoch war das Planungsbüro BIOM zu Beginn des Projektes nicht in ein Projekt mit der Entwicklung/Weiterentwicklung von kombinierten vernetzten Systemen eingebunden.

⁴ <http://idun.informatik.tu-cottbus.de/reflex/cgi/reflex-trac.fcgi>

⁵ <http://www.tu-cottbus.de/fakultaet1/de/betriebssysteme/>

⁶ SIEBER et. al. 2011

Für das Verbundprojekt war der bestehende Erfahrungsschatz der Fa. BIOM im Bereich von autonomen Langzeitüberwachungen⁷ sowie die genauen Kenntnisse der Anforderungen an ein Sensornetzwerk auf biotischer Ebene unverzichtbar.

1.3 Planung und Ablauf des Teilvorhabens

Der zeitliche und inhaltliche Ablauf des Vorhabens verlief insgesamt im Rahmen der ursprünglichen Planungen. Es fanden keine zeitlichen Abweichungen statt.

1.4 Stand von Wissenschaft und Technik

Schon in den frühen 1990er Jahren wurde die Diskussion um die Einführung einer bundesweit koordinierten und harmonisierten Umweltbeobachtung eingeleitet⁸. Im Ergebnis der Umweltministerkonferenzen 1991 und 1992 wurde die Umweltbeobachtung schon bald in Landesrecht umgesetzt⁹. Die gesetzliche Verpflichtung dazu leitete sich aus der Novelle des Bundesnaturschutzgesetzes (2002) ab, die in § 12 die Umweltbeobachtung als Aufgabe des Bundes und der Länder festschrieb. In der gültigen Fassung findet sich die Umweltbeobachtung in § 24 auf Großschutzgebiete beschränkt¹⁰.

Unabhängig von der ökologischen Umweltbeobachtung sind Langzeitüberwachungen von unterschiedlichsten Parametern mehrerer Umweltressourcen seit längerem etabliert (z. B. Forstliches Umweltmonitoring Deutschland). Darüber hinaus existiert bereits seit 2010 ein Studiengang Umweltmonitoring/Umweltanalyse an der TU Dresden.

Im Zuge der veränderten Rahmenbedingungen sind die Anforderungen an ein Monitoring im Bereich Umwelt stark gestiegen.

Stand der Technik

Durch die Entwicklung der Mikroelektronik haben sich die Anforderungen und Möglichkeiten eines Umweltmonitorings (Langzeiterfassung, -beobachtung und -kontrolle von Umweltgrößen) in den letzten Jahrzehnten gravierend gewandelt. Dem Anwender wird eine Vielzahl von Systemen zur Erfassung relevanter Größen kommerziell angeboten. Dennoch bestehen entscheidende Potenziale zur Steigerung der Effizienz und Aussagekraft eines Monitorings. Diese Potenziale ergeben sich aus den gegenwärtig vorhandenen Beschränkungen der Datenerfassung unter „Feldbedingungen“. Der überwiegende Teil der Erfassungen der vorgegeben Parameter im Rahmen des bundesweiten

⁷ Meitzner & Martschei (2000)

⁸ Sondergutachten des Rats von Sachverständigen für Umweltfragen 1990

⁹ z. B. § 9 LNatG M-V, § 4 SNG (2008)

¹⁰ BNatSchG (2009)

Monitorings der FFH-Arten wird bislang und wohl auch zukünftig mit hohem personellen und zeitlichen Aufwand manuell erfolgen. Neben der eingeschränkten Effektivität lässt diese Art der Datenbeschaffung kaum eine bundesweit einheitliche Handhabung bei der Beurteilung zu. Dies ist jedoch ein europaweit gefordertes Kriterium. „...Nach der erfolgreichen Einrichtung des Schutzgebietsnetzes Natura 2000 stellt nunmehr die Etablierung eines bundesweiten, langfristig ausgerichteten Monitorings gemäß Artikel 11 FFH-Richtlinie eine der zentralen aktuellen Herausforderungen dar...“. Dabei wird eine Weiterentwicklung bzw. Ergänzung des FFH-Monitorings unabdingbar sein.¹¹

Ziel müsste demzufolge ein bundesweit standardisiertes Erfassungs- und Auswerteverfahren sein, dass, um individuelle Fehler zu vermeiden, möglichst ein in großem Maße technisch basiert sein sollte. Eine Möglichkeit zur Langzeitüberwachung ausgewählter Parameter in der Umwelt, im speziellen Fall im Rahmen des bundesweiten FFH-Monitorings, stellen vernetzte Sensoren dar. Aus Anwendersicht können drahtlose Sensornetzwerke folgende Vorteile gegenüber autonom arbeitenden Messwerterfassungssystemen bieten:

- zeitnahe, quasi ständige Datenverfügbarkeit (schwellenwertbezogene Signale, Gefahrenabwehr, Ereignisidentifikation),
- Verminderung des Aufwandes zur Datengewinnung und Aufbereitung bei erhöhter räumlicher und zeitlicher Datendichte,
- Ermöglichung einer kontinuierlichen Datengewinnung an schwer zugänglichen oder gefährlichen Bereichen (z. B. in Mooren oder in Randbereichen von natürlichen Gewässern),
- Verminderungen von sich wiederholenden Störungen an den Messstandorten (Betreten von sensiblen Orten wie Horstschutzzonen, Lärmemission durch Anwesenheit von Personen).

In vielen Bereichen des alltäglichen Lebens werden bereits Sensornetzwerke eingesetzt. Für die großflächige Überwachung werden von zahlreichen Firmen mittlerweile auch drahtlose Sensornetzwerke angeboten. Hierbei handelt es sich überwiegend um eine Überwachung von physikalischen und chemischen Eigenschaften im technischen Umfeld sowie deren Überführung in digital auswertbare Größen. Dabei werden zumeist gezielte Lösungen für spezielle Aufgaben entworfen, welche sich nur bedingt für den Einsatz unter anderen Rahmenbedingungen eignen.¹² Die dadurch notwendige, sich wiederholende Neuentwicklung von Hardware und Software entsprechend verteilter Systeme bedingt in der Folge die hohen Anschaffungskosten.¹³ Daher ist die Anwendung wieder verwendbarer bzw. austauschbarer Module im Sinne eines Baukastensystems im ureigensten Interesse des Anwenders. Damit sollte durch Kombination vorgefertigter Module eine Überwachung mehrerer Parameter mit gleichen Erfassungs- und Auswerteszenarien ermöglicht werden.

¹¹ SACHTELEBEN & BEHRENS (2010)

¹² bsw. <http://www.senswork.de/content/index.cfm/fuseaction/14,dsp,0,1,0,0,1,0,dienstleistungs-schwer-punkte-sensornetzwerke.html>

¹³ KLAN (2010)

In Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg beispielsweise erfolgt die Datenerfassung momentan mit hohem personellem Aufwand, der zudem überwiegend ehrenamtlich abgesichert wird. Im Rahmen des landesweiten Monitorings der FFH-Anhangs-Insektenarten muss der jeweilige Lebensraum durch den jeweiligen Artbearbeiter des Landes ein- bzw. mehrfach (witterungsabhängig) angelaufen und die erforderlichen Daten durch Erfassung mit Hilfsmitteln (Fotoapparate, Kameras, Streifsack, Endoskope etc.) erhoben werden. Trotz größtem Bemühen um die bundes- bzw. landesweiten Vorgaben bezüglich der einheitlichen Erfassung einzuhalten, ist eine gewisse Zufälligkeit der zeitlich begrenzten Erfassung nicht auszuschließen. Zudem ist mittlerweile der Erfassungsaufwand so groß, dass die Leistung durch ehrenamtliche Mitarbeiter kaum noch abgesichert werden kann.¹⁴ Damit ist die Erfüllung der landesweiten bzw. bundesweiten Berichtspflicht zukünftig nicht mehr abgesichert!

Stand der Wissenschaft

Die ausgewählten Arten der Anhänge der FFH-Richtlinie stehen für eine zugehörige Artengemeinschaft des jeweiligen Lebensraumes.

Mit Hilfe des Monitorings soll der Erhaltungszustand der Population und damit im Weiteren auch des jeweiligen Lebensraumes zeitnah überwacht und eingeschätzt werden. Es gilt ein europaweites Verschlechterungsverbot! Derzeit werden z. B. Arten wie der Biber oder der Fischotter bedingt durch die Struktur des Lebensraumes und ihr artspezifisches Verhalten lediglich stichprobenhaft erfasst.¹⁵ Für den Fischotter gibt es beispielsweise derzeit keine wissenschaftlich anwendbare Methode zur Ermittlung der Populations- bzw. Bestandsgröße.

Beide Arten repräsentieren unterschiedliche Feucht- bis Nasslebensräume: der Biber benötigt eine Weichholzaue entlang naturnaher Gewässer, während der Fischotter ein Netz von zusammenhängenden und vernetzten Oberflächengewässern bevorzugt. Die Erfassung in den zum größten Teil schwer zugänglichen Bereichen setzt ein gewisses Maß an Vorortkenntnissen sowie den Einsatz einer kostenintensiven Ausrüstung voraus. Zudem sollten die Begehungen des jeweiligen Artbearbeiters für die störungsempfindlichen Arten auf ein Minimum reduziert werden. Hier offenbaren sich demzufolge die größten Vorteile einer sensorbasierten autonomen kontinuierlichen Überwachung. Und erst diese sichert eine schnellstmögliche Reaktion auf eine Veränderung der lebensraumrelevanten artspezifischen Parameter. Somit könnten im Bedarfsfall sehr schnell Gegenmaßnahmen ergriffen werden, um einer weiteren Verschlechterung der konkreten Lebensraumsituation entgegenzuwirken. Dabei könnte mit dem bislang genutzten Überwachungsansatz eine weiterführende und zugleich vergleichende Überwachung abgesichert werden.

¹⁴ STARKE & LIPPERT (2011)

¹⁵ STARKE & LIPPERT (2011)

Im Rahmen einer solchen Überwachung ist eine Überprüfung der Eignung der bislang ausgewählten Parameter ohne großen Zusatzaufwand zeitgleich möglich. Somit könnte zudem die geforderte Fortschreibung des FFH-Monitorings¹⁶ abgesichert werden.

Gängige Praxis ist seit Jahren der Einsatz von Migrationsuntersuchungen (Vögel, Großsäuger) zur Überwachung der Wanderrouten bzw. großräumiger Wanderbewegungen.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

BIOM hat im Rahmen des Projektes mit folgenden Firmen und Institutionen direkt und eng zusammengearbeitet.

Tabelle 1: Partner des Vorhabens und ihre im Dokument verwendete Namenskürzel

Partner	Namenskürzel
Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Fakultät 1, Lehrstuhl Verteilte Systeme/Betriebssysteme	BTU/Systeme
Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Fakultät 4, Lehrstuhl für Hydrologie und Wasserwirtschaft	BTU/Hydrologie
IHP GmbH (Innovations for High Performance Microelectronics, Leibniz-Institut für innovative Mikroelektronik) in Frankfurt (Oder)	IHP
GST Gesellschaft für System- und Tankanlagentechnik mbH	GST
Philotech GmbH	PHT
Landschaftsökologisches Planungsbüro BIOM	BIOM
LUG Engineering GmbH	LUG

Insbesondere im Rahmen des Teilvorhabens 2 wurde mit folgenden Partnern besonders eng an den oben beschriebenen Tasks zusammengearbeitet:

- BTU Hydrologie: Requirements Engineering für Sensornetzwerke
- GST: Entwicklung Anwendersoftware.

Die Zusammenarbeit verlief zunächst nicht wie erwartet produktiv und reibungsfrei. Anfänglich musste erst einmal eine „gemeinsame Sprache“ gefunden werden.

Als späterer Anwender und Nutzer der zu entwickelnden Sensortechnik steuerte die Firma BIOM wichtige Anregungen und Hinweise zur Anforderungsspezifizierung bei, die letztlich eine robuste Datenerfassung und eine verlässliche Datenübertragung unter zu erwartenden Umwelteinflüssen ermöglichen sollte. Besonders bei den zahlreichen Projekttreffen und Statusmeetings konnten offene Fragen schnell beantwortet und auftretende Problemen dargestellt und einer Lösung zugeführt werden.

¹⁶ SACHTELEBEN & BEHRENS (2010)

2 Eingehende Darstellung

Die hier präsentierten Ergebnisse werden in die Arbeitspakete unterteilt.

2.1 AP 1: Spezifikation der PT-Architektur

Task 1.1.i: Auswerteprogramm zur statistischen und grafischen Auswertung biologischer Messergebnisse

Der erste Arbeitsschritt bestand in der Zusammenfassung und Analyse der derzeit erforderlichen bzw. vom Gesetzgeber (Europa, Bund und Land) festgeschriebenen Langzeituntersuchungen der relevanten Arten. Insgesamt handelte es sich bei den in Deutschland vorkommenden Spezies der Anhänge II, IV und V der FFH-Richtlinie um einen Pool von

- 57 Säugetierarten,
- 28 Amphibien- und Reptilienarten,
- 62 Fisch- und Rundmäulerarten,
- 14 Käferarten,
- 16 Libellenarten,
- 23 Schmetterlingsarten,
- 10 Weichtierarten,
- 6 Sonstigen Arten (Krebse, Egel etc.).

Schnell kristallisierte sich heraus, dass aufgrund der Lebensweise sowie den für eine Überwachung notwendigen und verfügbaren technischen Mitteln einige Artengruppen nicht Gegenstand der Betrachtung sein konnten (s. auch Abb. 1 rot gekreuzt). Als realistisch relevante Artengruppen verblieben die Säugetiere, Amphibien und Käfer. Auch innerhalb dieser Gruppen sind nicht alle Arten als Bearbeitungsgegenstand tauglich. Gründe hierfür sind z.B. ihre geografische Verbreitung (Gelbbauchunke, Luchs, Alpenbock etc.) oder auch ihre Habitatwahl (Schweinswal usw.). Daneben wurde der Fokus aus rein rechtlich-fachlichen Gründen auf die in Brandenburg vorkommenden Arten der Anhänge II und IV der FFH-Richtlinie gelegt. Somit verblieb ein eingeschränkter Artenpool (s. auch Tab. 2).

Basierend auf einer umfangreichen Literaturrecherche erfolgte eine Analyse von typischen und erforderlichen Kennwerten zur Erfassung und Bewertung der erforderlichen biologischen Größen. Dazu gehören die Definitionen der biologischen Erfassungsgrößen (Raumnutzung, Fortpflanzungserfolg, Ruf-/Balzlaute, Temperatur, Feuchte etc.) sowie der dazu benötigten Erfassungstechnik (Bewegungsmelder, Lichtschranken, Kamera, Mikrofone, Filter, AD-Wandler etc.). Die Anforderungen hinsichtlich der Auswertung bzw. an die Überwachung aller Funktionen wurden ebenfalls definiert (s. Tab. 3).

Tabelle 3: Anforderungen

Relevanter zu untersuchender Sachverhalt	Technische Größe	Erfassungstechnik	Auswertung
Biber Lebensraumüberwachung	Aktivitäten	Lichtschranken/Bewegungsmelder	Diagramm und Tabellendarstellung
	Raumnutzung	Infrarotphotographie	Bildmaterial wird ausgewertet
	Fortpflanzungs-erfolg	Mikrofon, Filter, AD-Wandler	Audiodateien werden ausgewertet
Fischotter Lebensraumüberwachung	Aktivitäten	Lichtschranken/Bewegungsmelder	Diagramm und Tabellendarstellung
	Raumnutzung	Infrarotphotographie	Bildmaterial wird ausgewertet
Fledermäuse Aktivitäten / Artenspektrum	Ruflaute	Ultraschallmikrofone, Filter	Audiodateien werden ausgewertet
Entwicklung des Vorkommens von ausgewählten Fledermausarten in Quartieren	Ein- und Ausflüge in/aus den Quartieren	Lichtschranken/Bewegungsmelder	Diagramm- und Tabellendarstellung
	Foto- / Videoerfassung	IR-Photographie /IR-Videoaufzeichnung	Bildmaterial wird ausgewertet
Amphibien Aktivitäten / Artenspektrum	Balzrufe	Mikrofon, Filter, AD-Wandler	Audiodateien werden ausgewertet
Eremit Präsenzuntersuchung	Ein- und Ausflüge in/aus den Brutbäumen	Bewegungsmelder	Diagramm und Tabellendarstellung
	Raumnutzung	Infrarotphotographie	Bildmaterial wird ausgewertet
Heldbock Präsenzuntersuchung	Fressgeräusche	Mikrofon	Audiodateien werden ausgewertet
Hirschkäferlarven Präsenzuntersuchung	Stridulation	Mikrofon	Audiodateien werden ausgewertet
Bei allen zu untersuchenden Sachverhalten	Überwachung Temperatur	Temperatursensor	Diagramm- und Tabellendarstellung
	Überwachung Feuchte	Feuchtesensor	Diagramm- und Tabellendarstellung

Darüber hinaus erfolgte unter Hinzuziehung von potenziellen Anwendern eine Definition der Messzeiten (Jahreszeit, Tageszeit), -intervalle (täglich, stündlich, durchgehend) sowie Anzahl der Messungen (s. auch Kap. 2.3).

2.2 AP 2: Requirements Engineering für Umweltmonitoring-Anwendungen

Task 2.1 a: Untersuchung biotischer Monitoringanwendungen und Beschreibung der Analyse-Schritte

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes erfolgt eine umfangliche Analyse hinsichtlich des Bedarfs und der Umsetzbarkeit von Sensornetzwerken auf der Ebene von Untersuchungen in Natur und Landschaft am Beispiel des FFH-Monitoring Fauna auf europäischer Schutzebene und länderspezifischen Vorschriften (hier vor allem Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg).

Grundsätzlich ist eine Überwachung des Erhaltungszustandes aller Arten des Anhanges II der FFH-Richtlinie vorgeschrieben. Entsprechend dem Art. 16 der FFH-Richtlinie besteht europaweit eine 6-jährige Berichtspflicht. Dabei gilt ein Verschlechterungsverbot. Es gibt bei der Umsetzung der Pflichten bundesländerspezifische Unterschiede. Beispielsweise werden in Brandenburg für einige Arten Managementpläne erarbeitet (Wasserkäferarten, Eremit, Heldbock) oder auch Monitoringprogramme aufgesetzt (Hirschkäfer). An den genannten Aufgaben arbeitet die Fa. BIOM mit bzw. ist Direktauftragnehmer des Landes. Unter Hinzuziehung dieser praktischen Erkenntnisse aus der jahrelangen Bearbeitung sowie der Erfahrungen weiterer Spezialisten wurden mögliche Szenarien zur Überwachung relevanter Sachverhalte abgeleitet. Im Einzelnen handelte es sich um folgende:

- 1. Anwenderszenario:** Entwurf sowie Überprüfung eines biologischen Anwendungsszenarios zur räumlich und zeitlich hochaufgelösten Erfassung von Amphibien in einem künstlich geschaffenen Wassereinzugsgebiet („Hühnerwasser“),
- 2. Anwenderszenario:** Entwurf sowie Überprüfung eines biologischen Anwendungsszenarios zur räumlich und zeitlich hochaufgelösten Erfassung von Fledermausquartieren in Gebäuden,
- 3. Anwenderszenario:** Entwurf eines biologischen Anwendungsszenarios zur räumlich und zeitlich hochaufgelösten Erfassung von Holzkäfern in einem Waldgebiet (Brandenburg) am Beispiel des Hirschkäfers,
- 4. Anwenderszenario:** Entwurf sowie Überprüfung eines biologischen Anwendungsszenarios zur räumlich und zeitlich hochaufgelösten Erfassung im Rahmen eines Monitorings von Säugetieren an drei Durchlässen einer Brücke (MV).

Dabei wurden sowohl grundlagenorientierte Aufgaben, wie z. B. die Erfassung von räumlich und zeitlich hochaufgelöster Parameter (Raumnutzung durch Säuger) als auch die Entwicklung von Messnetzen zur Überwachung des chemischen und mengenmäßigen Zustandes von Habitaten/Lebensräumen entsprechend der FFH-Richtlinie betrachtet. Die ausgewählten Szenarien bzw. die Ausarbeitungen wurden den Projektpartnern zur Verfügung gestellt (s. auch Kap. 2.3).

Task 2.2 a: Ableitung von Hardwareanforderungen an Sensornetze aus Sicht biotischer Anwendungsszenarien

Im Ergebnis dieses Arbeitspaketes erfolgte eine tabellarische Zusammenstellung typischer Messgrößen und bislang verwandter Messinstrumente / Erfassungstechniken im Rahmen der (landesweiten) Artenmonitoringprogramme (s. Tabellen 4 bis 6).

Tabelle 4: Übersicht über die technische Anforderung und Umgebungsbedingung beim sensorgestützten Monitoring

Relevanter biologischer/ökologischer zu untersuchender Sachverhalt	Technische Größe	Erfassungstechnik	Auswertung
Lebensraumüberwachung Biber	Erfassung von Aktivitäten	Lichtschraken bzw. Bewegungsmelder	Diagramm und Tabellendarstellung
	Raumnutzung	Infrarotphotographie	Bildmaterial wird vom Spezialisten ausgewertet
	Fortpflanzungserfolg	Mikrofon, Filter, AD-Wandler	Ruflaute (Audiodateien) werden vom Spezialisten ausgewertet
Lebensraumüberwachung Fischotter	Erfassung Aktivitäten	Lichtschraken bzw. Bewegungsmelder	Diagramm und Tabellendarstellung
	Raumnutzung	Infrarotphotographie	Bildmaterial wird vom Spezialisten ausgewertet
Aktivitäten/Artenspektrum Fledermäuse	Erfassung der Ruflaute der Fledermaus	Ultraschallmikrofone, Filter, AD-Wandler	Ruflaute (Audiodateien) werden vom Spezialisten ausgewertet
Entwicklung des Vorkommens von ausgewählten Fledermausarten in Quartieren	Erfassung der Ein- und Ausflüge in/aus den Quartieren	Lichtschraken	Diagramm und Tabellendarstellung
	Fotoerfassung	Infrarotphotographie	Bildmaterial wird vom Spezialisten ausgewertet
	Überwachung Temperatur	Temperatursensor	Diagramm und Tabellendarstellung
	Überwachung Feuchte	Feuchtesensor	Diagramm und Tabellendarstellung
Aktivitäten/Artenspektrum Amphibien	Aufzeichnung der Balzrufe	Mikrofon, Filter, AD-Wandler	Balzrufe werden vom Spezialisten ausgewertet (Audiodateien).
Präsenzuntersuchung Eremit	Erfassung der Ein- und Ausflüge in/aus den Brutbäumen	Lichtschraken bzw. Bewegungsmelder	Diagramm und Tabellendarstellung
	Raumnutzung	Infrarotphotographie,	Bildmaterial wird vom Spezialisten ausgewertet

Tabelle 5: Akustische Erfassung

Akustische Erfassung	Frequenzbereich	Messdauer/ Messauslösung	Störgrößen	Position	technische Voraussetzungen	Datenformat/ Datenmenge/ Datenübertragung
Biber/Fischotter	?	Auslösung bei bestimmten Lauten (z. B. Jungtiere)	Wasser (Mikro unter Wasser)	Möglichst nah zum Schallereignis	Stromversorgung über längeren Zeitraum (1 Monat?)	Komprimierung (z. B. mp3) möglich vor dem Speichern und Versenden
Fledermäuse	Ortungsrufe, Sonstige Rufe 9-80 KHz	Auslösung bei Ge-räuschen in be-stimmten Ultra-schallbereichen. (artspezifisch) oder zeitgesteuert	Wind, Blätterrauschen Echos, Regen	Vor dem Ein- und Ausflugöffnungen. Entfernungen (bis maximal 20 m?) Wo in Räumen?	Ultraschallmikrofone Stromversorgung per Messintervall oder langen Zeitraum? Wie lange?	1 MB/min
Amphibien	200-4000 Hz	1 Minute 2-3 wähen der Balzzeit	Wind, Regen	Entfernung zum Schallereignis?		Komprimierung (z. B. mp3) vor dem Speichern und Versenden möglich < 1 MB/min

Tabelle 6: Optische Erfassung

Optische Erfassung	Foto, Video	Anzahl/ Aufzeichnungsdauer	Störgrößen	Umgebungsbedingungen	technische Anforderung	Datenformat/ Datenmenge
Biber/Fischotter	Fotofalle / Bewegungs- auslösung	Fotofolge und Pausen?	andere sich bewegende Objekte	Tag? Dämmerung? Nacht?	Wildkamera/ Fotofalle mit Infrarot-Umstellung*	ca. 1 MB/Foto
Fledermäuse	Video Bewegungs- auslösung	abhängig vom Ort der Wochenstuben: nur Aus- und Einflug - wenige Minuten? Winterquartiere: Wie viel Sekunden nach letztem Ereignis?	andere sich bewege- nde Objekte	Dämmerung bis völliger Dunkelheit	Aufzeichnungen im Infrarotbereich*	bis 1 MB/s
Amphibien	-					

Die Erfahrungen aus bereits realisierten Monitoringaufgaben bildeten die Basis für realitätsnahe, generische Anforderungsprofile an die Hardware hinsichtlich der zu verwendenden Sensoren, deren räumlicher Topologie (Anzahl, Abstand), den zu beachtenden Umfeldeinflüsse unter Feldbedingungen, der Häufigkeit der Messung, der Speicherung, der Datengewinnung und der Datenübertragung.

Darüber hinaus erfolgte am Beispiel der Amphibien sowie der Fledermäuse eine Darstellung möglicher Datenreduktionen ohne Erkenntnisverlust. Die tabellarische Auflistung sowie die Ausarbeitungen wurden den Projektpartnern zur Verfügung gestellt.

Task 2.3.a: Synthese der generalisierbaren Schritte in eine Methodik aus Sicht biotischer Anwendungsszenarien

In diesem Tool erfolgt eine Generalisierung der Analyse-Methodik auf gleichartige Abläufe bei ausgewählten Anwendungen, um die Methodik für die Konzeption bzw. technische Umsetzung des Sensornetzwerkes entwickeln zu können. Nach dem Identifizieren erster Schritte (wie z.B. das Festlegen der räumlichen Umgebung, die Art und die Anzahl der zu messender Größen etc.), wurden relevante Überwachungsaufgaben zusammengefasst, bei denen vergleichbare Szenarien abzarbeiten sind (s. auch Tab. 7).

Tabelle 7: Ergebnis der Generalisierung

Erfassung	Amphibien	Biber/ Fischotter	Fledermäuse	Eremit	Heldbock	Hirschkäfer
Temperatur	●	●	●	●	●	●
Luftfeuchte	●	●	●	●	●	●
Audio	●	●	●		●	●
Foto		●	●	●		
Video		●	●			
Bewegung		●	●	●		
Steuerung	●	●	●	●	●	●

Hierzu erfolgten enge Abstimmungen mit dem verantwortlichen Projektpartner (GST), der diese Planungsschritte in das Planungsmodul überführt. Ein Ergebnis der Verifizierung des Demonstrators 1 war die Trennung in Online- und Offline-Sensorik im Rahmen der Video-, Audio- und Fotoerfassung. Diese Problematik bei der Generalisierung bildete den Schwerpunkt im zweiten Teil des Berichtszeitraums.

Task 2.4.a: konkrete Anwendung der Methodik auf die ausgewählte Demonstrator-Anwendung, biotischer Teil

Im Demonstrator 2 wird die technische Umsetzung an einem konkreten Beispiel getestet. Hierfür wurde als repräsentativer Teststandort das künstlich geschaffene Wassereinzugsgebiet „Hühnerwasser“ ausgewählt und eine Aufgabenstellung formuliert. Im Hühnerwassereinzugsgebiet wird seit 2005 die Entwicklung von Ökosystemen mit einem umfangreichen Umweltmonitoring beobachtet. Als ausgewähltes Testszenario wurde ein akustisches Monitoring der Amphibien hinsichtlich der Umsetzbarkeit geplant.

Parallel fanden Tests mit einem Anwendungsszenario hinsichtlich Säugern (Groß- und Mittelsäuger, Fledermäuse) statt (s. Kap. 2.4).

Die folgenden Tabellen fassen die technischen Anforderungen an die akustische Überwachung von Amphibien im Rahmen des Demonstrators 2 zusammen:

Tabelle 8: Fragen zu den relevanten Standortfaktoren

Standortfaktoren	Position	Zugänglichkeit	Messpunktverteilung	Besonderheiten	Installation
Biber/Fischotter	Flussufer, Bach, Moorflächen	Rechtliche Einschränkungen (Betretgenehmigung, Ausnahmegenehmigungen etc.)	Mehrere Standorte (Biberburg, Bibersteig, Fraß- und Losungsplätze, Rutschungen)	z. B. sich ändernder Wasserstand (Elbe bei Bleckede)	Was und wo genau soll installiert werden? Anfahrt möglich und wie weit heran?
Fledermäuse	Innen / Außen Freifläche / Wald / Gebäude	Kooperation mit Eigentümer? Rechtliche Einschränkungen (Betretenehmigung, Ausnahmegenehmigungen etc.)	Mehrere Standorte		Stromversorgung? diebstahlgeschützter / ungeschützter Standort Erreichbarkeit mit Fahrzeug?
Amphibien	Gewässer, Randbereiche?	Rechtliche Einschränkungen (Betretenehmigung, Ausnahmegenehmigungen etc.)	Mehrere Standorte	Störungen (z. B. Wind bei akustischer Überwachung)	randlich des Gewässers bzw. im Gewässer (besserer Diebstahlschutz). dann aber Boot und Verankerung erforderlich.
xylobionte Käfer (z.B. Eremit)	Höhlenbaum: innerhalb oder außerhalb der Höhle	Rechtliche Einschränkungen (Betretenehmigung, Ausnahmegenehmigungen etc.) Baumhöhe	Mehrere Standorte in einem Altbaumbestand	Störungen (z. B. Feuchtigkeit, weitere Höhlennutzer)	randlich an Höhlenwand oder Höhlenausgang, aber: Stromversorgung? Erreichbarkeit mit Fahrzeug?

Tabelle 9: Fragen zu den relevanten zeitlichen Faktoren

Zeitfaktoren	Zeitfenster der Messungen	Messintervalle	Standortzugang	Besonderheiten	Installation
Biber/Fischotter	Beginn und Ende des Monitorings. zeitliche Messdichte?	Anzahl der Wiederholungen. Häufigkeit ereignisabhängig	zeitliche Zugänglichkeit (Winter)	Störungsfrei zur Jungenaufzucht	langzeitige Montage? Beständigkeit? Stromversorgung
Fledermäuse	Zeit der Winterquartiere oder/und Wochenstuben Dämmerung	Anzahl der Messungen. Zeitpunkt (2 Messungen am Tag: Abends und Morgens über wenige Minuten)	Kooperation mit Eigentümer/Nutzer?		
Amphibien	Jahreszeitraum? Zeit? (Balz) Abends?	Zeitpunkt (1 Messung abends über wenige Minuten)	Manuelle Zuschaltung?		
xylobionte Käfer (z.B. Eremit)	zeitliche Messdichte?	Anzahl der Wiederholungen. Häufigkeit ereignisabhängig	Manuelle Zuschaltung?		langzeitige Montage? Beständigkeit? Stromversorgung

2.3 AP 6: Demonstrator

Task 6.1.c: Definition der Vorgaben von Daten für Beispielszenarien

Abgeleitet von der Analyse des Bedarfs und der technischen Umsetzbarkeit einer sensorgestützten Überwachung in der biotischen Natur (siehe Task 2.1.a) wurde am Beispiel der Amphibien, Säuger (Fledermäuse, Biber, Fischotter) sowie der Insekten (xylobionte Käfer) eine detaillierte Anforderungsbeschreibung hinsichtlich der benötigten Erfassungstechnik sowie Anforderungen an die Speicherung bzw. Archivierung der erfassten Daten und deren anwender-spezifischen Auswertung erstellt (Offline-Sensoren).

Darüber hinaus erfolgte unter Hinzuziehung von potenziellen Anwendern eine Definition der Messzeiten (Jahreszeit, Tageszeit), -intervalle (täglich, stündlich, durchgehend) sowie Anzahl der Messungen (s. Tab. 10).

Tabelle 10: Definition der Vorgaben von Daten für Beispielszenarium Amphibien Hühnerwasser

Messgröße	Messstelle	Messartvorgehen	Messintervall	zeitliche Genauigkeit	Messgenauigkeit	Übertragungsintervall
Amphibien-geräusche	Anzahl: 1 Standort: am Ufer des Teiches	zeitgesteuert: Sonnenuntergang ab einer bestimmten Temperatur und ab einem bestimmten Datum. manueller Start, Stream von max. 60 Sekunden Länge (auch beim zeitgesteuerten Aufzeichnen)	einmal täglich automatisch manuell: 0-3 mal täglich	+/- 10 Minuten	200 - 4000 Hz	Offline-Sensor Übertragung von Audiodaten über das Netzwerk z.Z. nicht möglich. Status über die Funktionalität: 1 mal täglich
Temperatur	Anzahl: 1 Standort: beim Mikrophon	zeitgesteuert	4-12 mal täglich, Intervall soll Schwellwertabhängig (Vor-tag) angepasst werden	+/- 10 Minuten	+/- 1° C	1 mal täglich
Luftfeuchtigkeit			parallel zur Temperatur 4-12 Mal täglich schwellwertabhängig	+/- 10 Minuten	+/- 3%	1 mal täglich

Für die weitere Bearbeitung wurden Rohdaten (Amphibien, Fledermäuse) zum Test zur Verfügung gestellt. Dabei handelte es sich um Ruflaute von Amphibien und Fledermäusen in digitaler Form.

Es zeigte sich schnell, dass die vorhandene Technik (noch) nicht in der Lage war, die großen Daten zu verarbeiten bzw. zu versenden. Somit wurden Möglichkeiten geprüft, die Datenmengen stark zu reduzieren. Für das Beispielsszenario der Amphibien wurde dies tiefgehend geprüft.

Die Kartierung der Amphibien basiert u.a. auf die mehrfache manuelle Erfassung ihrer Balzrufe zu den artspezifischen Aktivitätszeiten. Der sich daraus ergebene personelle Aufwand ließe sich mit einer automatischen bzw. ferngesteuerten Erfassung und einer anschließenden Übertragung zum Auswerter erheblich verringern.

Um einerseits eine sichere Artenzuordnung der Rufe zu gewährleisten und andererseits die bei der Aufzeichnung anfallende Datenmenge möglichst gering zu halten, wurden in einem kleinen Versuch artenunabhängig die vorläufigen Grenzparameter ermittelt. Diese Werte sollen also lediglich eine Ausgangsbasis für die Einschätzung einer Realisierbarkeit und weiterer Überlegungen sein.

Die Analyse von Referenzaufnahmen von Rufen einzelner Arten ergab, dass für eine sichere Zuordnung der Frequenzbereich zwischen 200 und 4.000 Hz relevant ist.



Abbildung 3: Hoch- und 4. Tiefpass (ca. 2. Ordnung)

Die dem entsprechend von uns mit Tief- und Hochpass gefilterten Aufzeichnungen aus der Natur ermöglichen nicht nur eine gute Zuordnung der Arten, sondern erleichtern diese sogar, da eine Reihe von Störgeräuschen (Wind, Rauschen, ...) minimiert werden.

Die nach der Frequenzbeschneidung verringerte Samplerate von 44.100 Hz auf 11.025 Hz schränkte die Zuordnung der Ruflaute nicht ein. Eine weitere Verringerung der Samplerate, die wir nicht prüfen konnten, würde vielleicht noch eine etwas stärkere Datenreduktion ermöglichen.

Eine Verringerung der Abtasttiefe von 16 bit auf 8 bit verschlechtert die Qualität des Signals zwar merklich, doch ist eine Zuordnung noch gegeben. Wünschenswert wäre allerdings eine etwas höhere Abtasttiefe von vielleicht 12 bit.

Nach unseren jetzigen Vorstellungen wäre eine Aufzeichnung von 60 Sekunden für die Artenbestimmung ausreichend. Bei einer Abtasttiefe von 16 bit und einer Samplerate von 11.025 Hz wären das ca. 1,3 MB unkomprimierte Rohdaten pro Aufzeichnungseinheit (1 Minute).

Es sind pro Aufnahmepunkt (Gewässer) vier Aufnahmen im Zeitraum von März bis Juni einzuplanen. Die Möglichkeit einer Induktion vom Erfasser/Auswerter sollte gegeben sein.

Für die Übertragung könnten die Daten vor Ort komprimiert werden. Wir haben unsere nach den obigen Angaben gefilterten und gewandelten Testaufzeichnungen bis auf 32 kbit/s komprimiert. Die Qualität dieser komprimierten Datei war für die Bestimmung der Art/Arten völlig ausreichend. Bei einer weiteren Anpassung der Komprimierung und/oder Einsatz moderner Kompressionsstandards ergäbe sich zudem noch Potential für eine weitere Datenreduktion.

Trotz Ausschöpfen aller Möglichkeiten zeigten Tests, dass eine weitere Bearbeitung nur auf Ebene von Offlinesensoren möglich ist.

Letztlich erfolgte eine Definition der Vorgaben zur Kommunikation zwischen dem Betriebssystem und der Datenbank. Dabei wurden so exakt wie möglich die genauen Parameter für die zu analysierenden und auszuwertenden Daten beschrieben und unterschiedliche Untersuchungsmodi sowie bestehende Fragestellungen definiert (s. auch Tab. 7).

Tabelle 11: Anforderungen an eine akustische Erfassung

Akustische Erfassung	Frequenzbereich	Messdauer/ Messauslösung	Störgrößen	Position	technische Voraussetzungen	Datenformat/ Datenmenge/ Datenübertragung
Biber/Fischotter	?	Auslösung bei bestimmten Lauten (z. B. Jungtiere)	Wasser (Mikro unter Wasser)	Entfernung zum Schallereignis?	Stromversorgung über längeren Zeitraum (1 Monat?)	Komprimierung (z. B. mp3) mög-lich vor dem Speichern und Versenden
Fledermäuse	Ortungsrufe, Sonstige Rufe 9-80 KHz	Auslösung bei Geräuschen in bestimmten Ultraschallbereichen. (Artabhängig) oder Zeitgesteuert	Wind, Blätterrauschen Echos, Regen	Vor dem Ein- und Ausflugöffnungen. Entfernungen (bis maximal 20 m?) Wo in Räumen?	Ultraschallmikrofone Stromversorgung per Messintervall oder langen Zeitraum? Wie lange?	1 MB/min
Amphibien	200-4000 Hz	1 Minute 2-3 wahren der Balzzeit	Wind, Regen	Entfernung zum Schallereignis?		Komprimierung (z. B. mp3) vor dem Speichern und Versenden möglich < 1 MB/min bei Komprimierung

Tabelle 12: Anforderungen an eine optische Erfassung

Optische Erfassung	Foto, Video	Anzahl/Aufzeichnungs-dauer	Störgrößen	Umgebungsbedingungen	technische Anforderung	Datenformat/Datenmenge
Biber/Fischotter	Fotofalle / Bewegungs-auslösung	Fotofolge und Pausen?	Andere sich bewegende Objekte	Tag? Dämmerung? Nacht?	Wildkamera/Fotofalle mit Infrarot-Umstellung	ca. 1 MB/Foto
Fledermäuse	Video Bewegungsauslösung	Abhängig vom Ort Wochenstuben: Nur Aus und Einflug - wenige Minuten? Winterquartiere: Wie viel Sekunden nach letztem Ereignis?	Andere sich bewegende Objekte	Dämmerung bis völliger Dunkelheit	Aufzeichnungen im Infrarotbereich*	bis 1 MB/s
xylobionte Käfer (Eremit)	Fotofalle / Bewegungs-auslösung	Fotofolge und Pausen? Videoaufzeichnung	Andere sich bewegende Objekte	evt. Dämmerung bis völliger Dunkelheit	Aufzeichnungen im Infrarotbereich ? (innerhalb der Höhle) Wildkamera/Fotofalle mit Infrarot-Umstellung (außerhalb der Höhle)	ca. 1 MB/Foto bis 1 MB/s

2.4 AP 7: Demonstrator

Task 7.1.a: Auswahl der Sensorik

Entsprechend den Ergebnissen des AP 2.1 (s. Kap. 2.2) wurden anwenderspezifische, auf dem Markt vorhandene Sensoren ausgewählt, die den Anforderungen der jeweiligen Fragestellung genügen. Hierzu war es notwendig, unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten die Parameter herauszuarbeiten und zu analysieren, die zum Einen eine technische Realisierbarkeit gewährleisten und zum Anderen eine anwenderorientierte Lösung beinhalten. Voraussetzung für einen ergebnisorientierten Einsatz von Standardtechnik ist generell eine genaue Kenntnis der technischen Möglichkeiten, der praktischen Notwendigkeiten sowie der damit erreichbaren Lösungswege der Konzeption eines ersten Versuchs demonstrators. Eine der zentralen Aufgaben stellte somit die exakte Definition und Diskussion des gewünschten Etappenzieles dar. Folglich bestand die Hauptarbeit in diesem Task in einer vornehmlich wissenschaftlichen Quellenanalytik.

Die Quellenanalyse wurde nicht genau in einem zusammenfassenden Beitrag festgehalten. Bei der Quellenanalyse konnte auf keine eigenen und/oder fremden Erfahrungen zurückgegriffen werden. Die Auswahl der Geräte (Kamera, Mikrofon, Aufnahmetechnik, ...) erfolgte daher allein auf Grundlage der vorgegebenen Parameter in Abstimmung mit den Ausstattungsmerkmalen der in Frage kommenden Technik und deren Kosten.

Bei der Videokamera standen hier im Vordergrund:

- Aufnahmen bei Dämmerung und Nacht (Infrarot);
- Möglichkeit der Vernetzung (LAN/WLAN), hohe Auflösung (HD),
- Zeit- und Ereignissteuerung der Aufzeichnung,
- Einsatz auch im Außenbereich (Schutz vor Feuchtigkeit, Staub, ...).

Bei der akustischen Überwachung stand im Vordergrund:

- Erfassung von Körperschall (Käfer),
- Erfassung von Schallereignissen über mittlere und größere Entfernungen (Amphibien),
- hoher Verstärkungsfaktor.

Bei der Fotofalle (Säuger) stand im Vordergrund:

- Aufnahmen bei Dämmerung und Nacht (Infrarot);
- hohe Auflösung (HD),
- Zeit- und Ereignissteuerung der Aufzeichnung,
- Einsatz auch im Außenbereich (Schutz vor Feuchtigkeit, Staub, ...).

Die Grundlagen und Ausgangssituation für die Auswahl sind mit der Videokamera hinsichtlich des Einsatzes zur Überwachung der Säuger identisch. Für die ersten Tests standen besonders die Anschaffungskosten im Vordergrund. Wie sich zeigte, reagierten die Kameras, besonders bei der ereignisgesteuerten Aufzeichnung, stark abweichend von zugesicherten Eigenschaften. Dieser Umstand hatte wenig Auswirkung auf die Testumgebung innerhalb des Projektes, dafür aber umso mehr auf fachliche Tauglichkeit im Rahmen eines Arten-Monitorings. Sowohl bei der Videokamera, als auch bei der Fotokamera wurden wegen dieser Problematik zu späteren Zeitpunkten alternative Fabrikate angeschafft und getestet. Eine völlig zufriedenstellende Funktionsweise aus Anwendersicht konnte mit der Standardtechnik erwartungsgemäß nicht erreicht werden. Eine ausführliche Beschreibung der Kamerateests erfolgt auf den Folgeseiten unter Anwenderszenario 2 und 4.

Ausgangspunkte einer Mikrofonauswahl waren als Hauptkriterien die Erfassung von Schallereignissen über mittlere und größere Entfernungen und die Erfassung von Käferlarven initiierten mechanischen Schwingungen (Körperschall). Die ausführliche Beschreibung der Mikrofontests erfolgt auf den Folgeseiten unter Anwenderszenario 1 und 3.



Abbildung 4: Richtmikrofon SPY-LIZER mit Zubehör (Körperschallmikrofon und externes Mikrofon)

Zum effektiven Auffinden von mit Hirschkäfern besiedelten Eichenstubben (Hirschkäferwiegen) wurde die akustische Erfassung mittels piezoelektrischen Wandlern sowie Minimikrofonen getestet. Hierbei wurde ein Recorder der Fa. Swissonic mit zwei parallelen Mikrofonen zur Aufnahme genutzt. Die erhaltenen Dateien wurden anschließend digital unter Nutzung des Audio-Programmes Goldwave weiterverarbeitet und die entstehenden Sonogramme ausgewertet.

Task 7.2.f: Prüfung des Demonstrators aus Anwendersicht

Aufgrund der Ergebnisse aus dem Arbeitspaket 6 beinhalteten die Tests die Erfassungen von Daten über mehrere Monate unter sich verändernden Witterungseinflüssen sowie die Durchführung paralleler Kontrollmessungen im Offline-Modus. Diese Tests untersuchten zudem die Effektivität der Messungen unter den vordefinierten methodischen Ansätzen (s. auch Kap. 2.2) und optimieren diese gegebenenfalls im Rahmen des Projektes.

Im Folgenden werden die bearbeiteten Anwendungsszenarien beschrieben.

1. Anwenderszenario: Räumlich und zeitlich hochaufgelösten Erfassung von Amphibien in einem künstlich geschaffenen Wassereinzugsgebiet („Hühnerwasser“)

Im Rahmen dieses Testes wurde die Erfassung von Amphibien an dem künstlich geschaffenen „Hühnerwasser“ geplant. Dazu sollten in den Testansatz zur Erfassung hydrologischer Parameter Mikrofone integriert werden, die dann akustisch die Ruflaute anwesender Frösche aufnehmen sollten.

Schon in Vorbereitung der Auswahl der Mikrofone stellte sich jedoch heraus, dass mit der projekteigenen Technik eine Verarbeitung und ein Senden der Daten trotz möglicher starker Datenreduktion (s. Kap. 2.3) im Rahmen des Projektes nicht ermöglicht werden konnte. Somit wurde auf einen Einsatz im Demonstrator verzichtet.

2. Anwenderszenario: Räumlich und zeitlich hochaufgelösten Erfassung von Fledermausquartieren in Gebäuden

Im Rahmen einer speziellen artenschutzrechtlichen Prüfung stand die Aufgabe, in einem für den Abriss vorgesehenen Gebäude (PhanTechnikum in Wismar) die Fledermausfauna zu untersuchen. Konkret waren Aufnahmen in einem für den Abriss bestimmten Seitengebäude, dem Stabsgebäude der Lübschen Burg, geplant (s. Abbildungen 5 und 6).



Abbildung 5: Lage und Draufsicht auf das Stabsgebäude

Das Technische Landesmuseum Mecklenburg-Vorpommern vertreten durch die Deutsche Stadt- und Grundstücksentwicklungsgesellschaft mbH & Co. KG plant zeitnah eine Erweiterung des phanTechnikums auf der "Lübschen Burg" - Hansestadt Wismar. Hierfür ist zunächst der Abbruch eines Großteils des östlichen Flügels des ehemaligen Stabsgebäudes erforderlich (s. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). In einem zweiten Schritt soll ein Ersatzneubau in ähnlicher Dimension an gleicher Stelle errichtet werden.



Abbildung 6: Aussenansicht des Stabsgebäudes

Ziel des videogestützten Monitorings ist die automatische Erfassung der Anzahl der Individuen eines Quartieres sowie die Unterscheidung einzelner Arten bei der nachträglichen Bewertung anhand der Videoaufzeichnungen des Ausfluges der Fledermäuse. Eine manuelle Erfassung der Individuen in Winterquartieren ist oft schwierig, da der Zeitpunkt des Verlassens variiert und folglich nur ungenau bestimmt werden kann.

Die Aufzeichnung wird hauptsächlich in den Zeiten der Abend- und Morgendämmerung erfolgen. Für eine normale Videoaufzeichnung sind die Lichtverhältnisse unzureichend. Viele Quartiere befinden sich in Gebäuden, deren Räume während der Aufzeichnung völlig abgedunkelt sind.

An den meisten Standorten, auch in Gebäuden, existiert keine Stromversorgung.

Die verwendete Technik ist im Einsatz normalen Umwelteinflüssen ausgesetzt (Regen, Wind, Staub, ...).



Abbildung 7: Kamera2000 1080P Outdoor
Array IR 50M IP Kamera
Netzwerkamera



Abbildung 8: LupusNET LE933 (Alternative nach
Defekt der Kamera2000)

Die Auswahl der Test-Kamera erfolgte nicht auf Grundlage schon vorhandener Erfahrungen, sondern sie orientierte sich in erster Linie an den bekannten Bedingungen und Gegebenheiten des Aufzeichnungsortes und den z. Z. technischen sowie den wirtschaftlich vertretbaren Möglichkeiten.

Tabelle 13: Technische Daten der zum Einsatz gekommenen Kameras

	Kamera2000	LupusNET
Auflösung (max.):	1920 x 1080 Bildpunkte x 25 fps (progressiv)	1920 x 1080 Bildpunkte x 30 fps (progressiv)
Bildkompression:	H.264 / JPG	H.264 / JPEG
IR-Array:	2 Hochleistung IR-LED (Reichweite linsenabhängig bis 50 m)	eingebaut 35 IR LED (Reichweite 25 m)
Stromversorgung:	12 V	12 V
Schnittstellen:	LAN, WLAN, S-Video, Audioeingang und -ausgang	LAN, WLAN, S-Video, Audioeingang und -ausgang
Speicher:	Micro SD-Card	Micro SD-Card
Schutzart:	IP65	IP66
Brennweite der Linse:	3,6 mm (feste Brennweite)	3,6 - 16 mm (Zoomobjektiv)

Die Kamera wurde wegen des universellen Einsatzes für den Test auf ein handelsübliches Fotostativ montiert. Die Stromversorgung erfolgte über das mitgelieferte Netzteil.

Die Erstkonfiguration der Kamera erfolgte über LAN mittels Browser. Beim erstmaligen Aufruf der durch den Hersteller vorgegebenen IP-Adresse wird ein nur mit dem Internet Explorer funktionierendes OCX-Plugin installiert.

Einige Einstellungen der Kamera, wie z. B. die Festlegung der Speicherpfade, werden nur dauerhaft übernommen, wenn man die IP-Adresse der Kamera in den Sicherheitseinstellungen des Internet Explorers zu den vertrauenswürdigen Seiten hinzufügt oder die Sicherheitseinstellungen generell ändert.

Der durch die Brennweite der Linse (3,6 mm) bestimmte Öffnungswinkel beträgt knapp 70° in der horizontalen und knapp 35° in der vertikalen Richtung.

Nur im „Single“-Modus - es wird nur ein Stream aufgezeichnet - wird die in den Voreinstellungen gewählte Bildrate auch erreicht. Im „Tri-Sream“ dagegen fiel die tatsächliche Bildrate bis auf die Hälfte der voreingestellten ab. Ob die Ursache bei der Übertragung (LAN 100 Mbit) oder bei der Kamera zu finden ist, muss noch ermittelt werden.

In der maximalen Auflösung kann nur ein Stream mit H.264-Komprimierung aufgezeichnet werden. Und bei einer voreingestellten Kompressionsrate von 5.000 bps werden ca. 35 MB/min bzw. ca. 2 GB/h gespeichert.

Die Kamera ist in der Lage, sowohl zeit- als auch ereignisgesteuert auf der SD-Card aufzuzeichnen. Nur lassen sich diese Steuerungsmöglichkeiten in der Kamera nicht (UND-)verknüpfen. Das ist nur bei einer Aufzeichnung auf einen über LAN verbundenen Rechner möglich. Ein anderer Lösungsansatz wäre die externe Zeitsteuerung durch Unterbrechung der Stromversorgung der Kamera.

Der Schwellwert des Bewegungssensors lässt sich zwar variieren, doch reagiert er selbst bei niedrigster Einstellung sehr empfindlich.

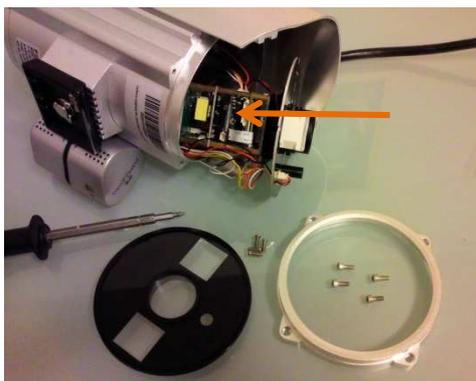


Abbildung 9: Einbau/Wechsel SD-Karte

Der Einschub für die SD-Card ist nicht direkt, sondern nur nach dem Öffnen und dem Ausbau der innenliegenden Steuerung zugänglich.

Laut Hersteller ist diese Übertragungsgeschwindigkeit normal.

Für eine schnellere und bequemere Entnahme der SD-Card ist vor einem Dauereinsatz der Kamera das Einfräsen einer verschließbaren seitlichen Öffnung in das Gehäuse zu erwägen.

Über WLAN ist die Kamera trotz korrekter Eingabe der nötigen Daten nicht erreichbar. Im Gegensatz zur LAN-Schnittstelle gibt es für die WLAN-Schnittstelle keine Möglichkeit, eine IP-Adresse zu vergeben.

Die Kamera kann Daten über FTP und SMTP verschicken, doch wurden diese Funktionen wegen des fehlenden Internetzugangs vor Ort vorerst nicht weiter getestet.

Die Kamera schaltet abhängig von der Helligkeit automatisch in den IR-Modus und zeichnet dann monochrom auf.

Die Leistungsaufnahme über das Netzteil liegt etwa bei 6 W und mit zugeschalteten IR-LEDs bei knapp 8 W. Beim Betrieb an einer 12 V Batterie fließt ein Strom in der Stärke von etwa 500 mA. Bei deutlicher Unterschreitung der 12 V Nennspannung (<11 V) arbeitet die Kamera nicht mehr zuverlässig.

Die mitgelieferte Software orientiert sich in erster Linie an den typischen Bedürfnissen einer Überwachung.

Im Gegensatz zur internen Aufzeichnungssteuerung der Kamera lassen sich mit der auf dem PC laufenden Überwachungssoftware „Surveillance Client“ beide Aufzeichnungsmodi kombinieren. Allerdings werden dabei zwei Aufzeichnungen parallel gespeichert. Die ereignisgesteuerte erfolgt also separat zur durchgängigen zeitgesteuerten Aufzeichnung.

Wegen des oft fehlenden 230V-Stromanschlusses an den Einsatzorten wird eine Aufzeichnung direkt auf einen über das LAN verbundenen PC nur bei kurzen Einzelbeobachtungen erfolgen können.

Ort der Aufzeichnung war ein unterkellertes, zweigeschossiges und für den Abriss bestimmtes Seitengebäude des PhanTechnikums in Wismar.

Das Gebäude war gut zugänglich und begehbar und zudem mit dem Auto auch gut zu erreichen. Letzteres erleichterte den Aufbau der ersten Versuchsanordnung, da für die Videoerfassung und -aufzeichnung im Gebäude kein 230 V Stromanschluss zur Verfügung stand.

Wegen der örtlichen Gegebenheiten musste eine unabhängige Stromversorgung realisiert werden. Durch die gute Zugänglichkeit des Gebäudes war die Stromversorgung über das Auto am preiswertesten und am schnellsten zu realisieren.

Die Kamera arbeitet zwar mit derselben Betriebsspannung wie sie im KFZ zur Verfügung steht, doch weil die Kamera über 20 m entfernt von der Stromquelle aufgestellt werden musste und etwas empfindlich auf einen Spannungsabfall reagiert, kam ein bereits vorhandener KFZ-Spannungswandler 12/230V zum Einsatz.

Von diesem bis zum Aufstellungsort der Kamera wurde ein 230 V Verlängerungskabel verlegt und die Kamera wurde dann übers Netzteil mit Strom versorgt.

Weil das Schaltnetzteil des Notebooks nicht mit dem KFZ-Spannungswandler 12/230V funktioniert, wurde das Notebook über einen eigenen KFZ-Spannungswandler 12/19V mit Strom versorgt. Bei dem Versuch war es erforderlich, schnell die Aufzeichnungs- und Kameraeinstellungen sowie die Kameraposition zu variieren. Um dafür das Notebook in der Nähe der Kamera oder zumindest im Gebäude nutzen zu können, wurde ein 10 m langes 12 V Verlängerungskabel mit 2,5 mm² Querschnitt gefertigt.

Über ein 15 m langes LAN-Kabel konnte dann vom Notebook aus jederzeit die Kamera konfiguriert werden und der größte Teil aller Aufzeichnungen erfolgte direkt auf dem Notebook.

Um auch ereignis- und zeitgesteuerte Aufnahmen direkt durch die Kamera aufzeichnen zu können, wurde die Kamera mit einer bereits vorhandenen 2 GB großen SD-Card bestückt.

Die Kamera wurde etwa 6-7 m gegenüber der Giebelinnenwand des Flures im Erdgeschoss aufgestellt, da diese Wand von den Fledermäusen bei der Erkundung ihres Winterquartiers sehr

häufig angefliegen wird. Durch das Wenden verweilen die Tiere zudem relativ lange im Blickfeld der Kamera.

Die ersten Aufnahmen erfolgten weitgehend mit den Standardeinstellungen der Kamera. Nur die Blende wurde von 100%iger Öffnung letztlich auf 10% verringert. Dabei verdunkelte sich das Bild nur sehr wenig, allerdings änderte sich auch die Tiefenschärfe nur unmerklich.

Gegenüber manuell gestarteten Aufzeichnungen speichert die Kamera die ereignisgesteuerten Aufnahmen ausschließlich auf der SD-Card. Die mitgelieferte Software ermöglicht eine ereignisgesteuerte Aufnahme dagegen nur auf dem Rechnerspeicher.

Der die Aufzeichnung auslösende Bewegungssensor reagiert auch bei dem niedrigsten einzustellenden Wert immer noch extrem empfindlich. Selbst kleine Insekten und größere umherschwebende Staubpartikel können eine Aufzeichnung auslösen. Außerhalb von Gebäuden dürfen sich in den zu berücksichtigenden Bildbereichen weder Laub, Gras oder sonstige vom Wind leicht zu bewegende Objekte befinden, wenn man nicht eine schnell speicherfüllende Daueraufzeichnung riskieren möchte.

Auch wenn sich die vom Bewegungssensor zu berücksichtigenden Bereiche (4 x 3 Sektoren) selektiv bestimmen lassen, für eine Aufzeichnung auf die SD-Card ist diese empfindliche Ereignissteuerung ungeeignet.

Ebenso wie bei der Ereignissteuerung kann bei der Zeitsteuerung durch die Kamera nur auf SD-Card gespeichert werden und bei der Aufzeichnung mittels Software nur auf einem dem PC zugänglichen Datenträger.

In beiden Fällen funktionierte die Steuerung der Aufzeichnung zwar reibungslos, doch einem Dauerbetrieb steht hier die Speichergröße der SD-Card entgegen, durch die die Aufzeichnungsdauer bei maximaler Bildauflösung auf etwa 16 Stunden begrenzt wird.

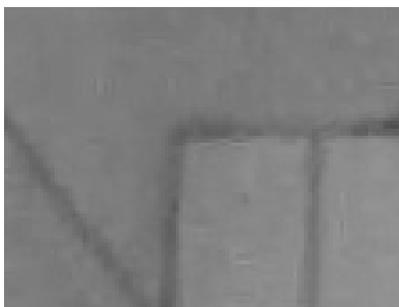


Abbildung 10: Testaufnahme

Alle Testaufnahmen erfolgten in der maximal möglichen Bildauflösung, da wegen des Weitwinkelobjektivs (3,6 mm) die Tiere nur einen sehr kleinen Teil des Bildes ausfüllten.

Für eine Erfassung der Individuenanzahl ist die Aufzeichnungsqualität allerdings völlig ausreichend. Für diesen Zweck würde sogar eine weitaus geringere Auflösung ausreichen, wodurch sich der Speicherplatzbedarf deutlich verringern würde.

Eine Bestimmung der Arten ist dem gegenüber selbst beim Betrachten von Einzelbildern wegen der extremen Bewegungsunschärfe nicht möglich. Verschlusszeiten von 1/50 bis 1/300 Sekunde sind für die Abbildung von sich schnell bewegenden Objekten viel zu lang (untere Bildreihe).



Abbildung 11: Testaufnahmereihe 1

Erwartungsgemäß konnte mit der Verkürzung der Verschlusszeit die Bewegungsunschärfe minimiert werden, doch verringerte sich dadurch merklich die Bildhelligkeit und auch das Bildrauschen nahm deutlich zu. In der unteren Bildreihe sieht man deutlich diesen Zusammenhang (v.l. 1/50s, 1/100s, 1/200s 1/300s)



Abbildung 12: Testaufnahmereihe 2

Vermutlich lassen sich erst mit Verschlusszeiten von unter 1/500 Sekunde artspezifische Details auf Standbildern aus IR-Videoaufzeichnungen erkennen (s. Abb. 12). Dafür aber reicht die Leuchtstärke der beiden in der Kamera verbauten IR-Hochleistungs-LEDs nicht aus. Daher ist im nächsten Schritt der Einsatz zusätzlicher IR-Lichtquellen vorgesehen.



Abbildung 13: IR-Scheinwerfer

Bei der Auswahl zusätzlicher Lichtquellen sind in Abhängigkeit von der Stromquelle, der Energiebedarf insgesamt und die Effizienz die entscheidenden Kriterien. Outdoor IR Array Scheinwerfer mit Hochleistungs-LEDs bieten bei nur geringer Leistungsaufnahme eine sehr gute Lichtleistung.

Die bei der Videoaufzeichnung produzierte Datenmenge von mehreren Gigabyte pro Tag, ist durch das im Rahmen des Projektes konzipierte Netzwerk z. Z. nicht zu übertragen. Es ist daher von vornherein eine lokale Speicherung der anfallenden Videodaten vorgesehen (Offline-Sensor). Die gespeicherten Daten werden nach Bedarf manuell vor Ort ausgelesen.

Neben dem Messen von Temperatur und Luftfeuchtigkeit ist die Überwachung und Steuerung der Aufzeichnungstechnik durch das Netzwerk von besonderer Bedeutung für das Funktionieren eines videogestützten Monitorings. Hervorzuheben ist hierbei in erster Linie die Überwachung der Stromversorgung und der Speicherbelegung sowie die Ereignisübermittlung.

Durch das Sensornetzwerk können beim videogestützten Monitoring folgende Aufgaben übernommen werden:

- Powermanagement: die Kamera und alle zusätzlich für die Aufzeichnung nötigen Baugruppen (z. B. zusätzliche Lichtquellen, Bewegungssensoren, ...) können außerhalb der vorgegebenen Zeitfenster von der Stromversorgung getrennt werden.
- Steuerung der Kamera: Bewegungssensoren des Sensornetzwerkes können die Aufzeichnung ereignisgesteuert auslösen.
- Funktionsüberwachung: Ladezustand des Akkus, Speicherbelegung der SD-Card, Funktionstüchtigkeit der Baugruppen
- Ereignisübermittlung: Dem Anwender wird werden die Aktivitäten des Offline-Sensor übermittelt.

3. Anwenderszenario: Räumlich und zeitlich hochaufgelösten Erfassung von Holzkäfern in einem Waldgebiet (Brandenburg) am Beispiel des Hirschkäfers

Im Zusammenhang mit zwei Projekten im Untersuchungszeitraum, die sich mit dem Hirschkäfer im Speziellen beschäftigte, wurde der Einsatz einer speziellen Erfassungs- und Überwachungstechnik getestet: der Larvensuche mittels akustischer Detektion.

Hintergrund ist die derzeit unbefriedigende Situation der standardisierten Erfassung und Bewertung der Vorkommen des Käfers. Während für Eremit und Heldbock bereits die Besiedlung von Lebensstätten eines der Kriterien zur Bewertung des Erhaltungszustandes der jeweiligen Arten ist, wird dies bislang beim Hirschkäfer nicht betrachtet. Ein neuerer Ansatz greift diesbezüglich ebenfalls zu kurz, da der Nachweis von Käfern (oder Käferresten) nicht notwendigerweise eine Aussage über die Besiedlung eines Gebietes trifft¹⁷. Das Bewertungsschema für den Hirschkäfer sollte den Nachweis der Vermehrung einschließen. Diesbezüglich besteht Überarbeitungsbedarf. Da zeitgleich die vom Bundesamt für Naturschutz empfohlenen Bewertungsschemata überprüft werden, besteht deutschlandweit die Möglichkeit, neue Bewertungsmethoden zu diskutieren. Langfristiges Ziel stellte ein Monitoring besiedelter Stubben mit nicht-invasiven Methoden dar.

Basierend auf den Erfahrungen mit der Larvennachsuche im Jahr 2013 wurden durch die an der AG *LUCANUS* beteiligten Planungsbüros seit 2014 Untersuchungen des Hirschkäfers in Zusammenhang mit artenschutzrechtlichen Verträglichkeitsprüfungen bereits grundsätzlich mit einer Nachsuche

¹⁷ THEUNERT (2013)

nach Larven verbunden¹⁸. Nur durch den Nachweis der Larven kann die Besiedlung von Flächen und Strukturen schlüssig nachgewiesen werden; die alleinige Untersuchung aktiver Käfer (oder Nachsuche nach Käferresten) ist wegen der großen möglichen Dispersionsentfernung der Art nicht aussagefähig.

Die bislang verwendete Methodik stellt ausschließlich auf gefundene Imagines ab, die aber nur sehr unzureichend die tatsächliche Populationsgröße widerspiegeln. Die Größe minimal überlebensfähiger Populationen wurde bislang nicht untersucht.

Die tatsächlichen Populationsgrößen sind offensichtlich erheblich größer. Populationsökologische Grundlagenarbeiten, etwa vergleichbar mit denen zum Eremit (*Osmoderma eremita*), liegen bislang nicht vor. Aus vorhandenen Quellen lassen sich bislang folgende relevante Angaben entnehmen, die Hinweise auf tatsächliche Populationsgrößen geben können:

- Teil (ca. ¼) eines Wurzelstocks (Kirsche): 25 Individuen (12 L1, 16 L2, 3 L3, 3 Weibchen),^{19,20}
- Bis zu 1.000 Larven in einem Wurzelstock,²¹
- Bis zu 1.500 Larven aller Stadien in einem Stubben, andere Stubben mit 800-1.000 Larven,²²
- Beobachteter Schlupf von Imagines aus 7 umgesiedelten Eichenstubben (Flughafen Frankfurt) in 5 Jahren: 2-25 Imagines/Stubben/Jahr^{23 24}
- Populationsgröße in einem ungarischen Naturschutzgebiet: 450 Männchen und 150 Weibchen je km²,²⁵
- Populationsgröße im Diersfordter Wald (Nordrhein-Westfalen) nach einer mark-recapture-Erfassung: 177 Imagines.²⁶

Bereits die wenigen publizierten Zahlenangaben machen deutlich, dass die Zahl der Hirschkäfer in einer Population größer ist, als an Hand zufällig beobachteter Imagines feststellbar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die mittlere Zahl abgelegter Eier nur bei 24 (15-36) liegt²⁷, demnach also größere Larvenansammlungen stets Nachkommen zahlreicher Weibchen sein müssen.

Die nun angewandte, aufwändige Nachsuche nach Larven wurde in diesen Fällen – um die Art nicht nachhaltig zu stören – nur bis zum qualitativen Nachweis der Besiedlung einer Lebensstätte (Stubben, Wurzeln stehender Bäume) vorgenommen. Die Besiedlung durch ökologisch ähnlich eingemischte Arten (insbesondere Sägebock und Maikäfer: Larven beider Arten häufig syntop mit dem Hirschkäfer) wurde als Indiz für eine grundsätzliche Eignung der Lebensstätte bewertet, sofern

¹⁸ STEGNER (2014 a, b)

¹⁹ RINK (2006)

²⁰ RINK & SINSCH (2008)

²¹ MARTIN (1993)

²² GRÜTZNER (1924/25)

²³ EBERT & MÜLLER-PFANNENSTIEL (2008)

²⁴ EBERT (2011)

²⁵ TOCHTERMANN (1992)

²⁶ BIOLOGISCHE STATION IM KREIS WESEL E.V. (2009)

²⁷ HARVEY et al 2011 a

letzterer nicht explizit nachgewiesen wurde. Die genannte Untersuchung bedarf einer weiteren Untersetzung, Operationalisierung und besseren Etablierung in der gutachterlichen Praxis.

Um die sehr aufwändige Untersuchung (s. auch Abb.) zu effektivieren und ohne grabende Tätigkeiten die Besiedlung eines visuell tauglichen Stubbens erfassen zu können, wurde die Larvensuche mittels akustischer Detektion getestet.

Familientypisches Kennzeichen der Larven aller Hirschkäferarten ist das Vorhandensein eines Stridulationsorgans auf der Rückseite der Hüfte der Mittelbeine und der Schenkel der Hinterbeine (KLAUSNITZER & SPRECHER-ÜBERSAX 2008). Durch Reiben werden Töne erzeugt, die vermutlich der Kommunikation (Einhalten einer gleichmäßigen Verteilung der Larven im Substrat) dienen.

Durch die Arbeit von HARVEY et al. (2011 b) sind spezifische Stridulationsmuster der Hirschkäferlarven bekannt. Die syntop vorkommenden Larven des Hirschkäfers (*Lucanus cervus*), des Gemeinen Rosenkäfers (*Cetonia aurata*) und des Balkenschroters (*Dorcus parallelipedus*) stridulieren mit unterschiedlichen, voneinander unterschiedlichen Audio-Mustern (CHESMORE 2008, HARVEY et al. 2011 b). Die folgende Abbildung (Quelle: D.J. Harvey et al. 2011) zeigt das Stridulationsmuster des Hirschkäfers. Die genannten Autoren schlagen akustische Detektion als eine neue, nicht-invasive

Erfassungs- und Monitoringmethode vor, die aber bislang nicht in größerem Maßstab getestet wurde.

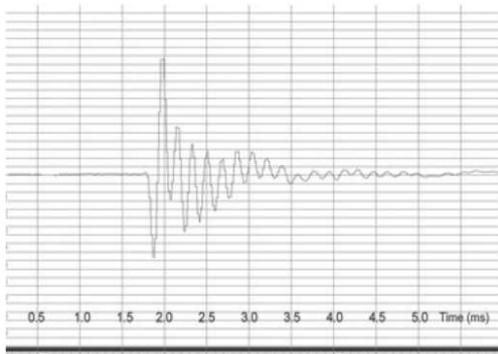


Abbildung 14: Stridulationsmuster des Hirschkäfers (Laborversuch)

Zum effektiven Auffinden von mit Hirschkäfern besiedelten Eichenstubben (Hirschkäferwiegen) wurde die akustische Erfassung mittels piezoelektrischen Wandlern sowie Minimikrofonen getestet. Hierbei wurde ein Recorder der Fa. Swissonic mit zwei parallelen Mikrofonen zur Aufnahme genutzt. Die erhaltenen Dateien wurden anschließend digital unter Nutzung des Audio-Programmes Goldwave weiterverarbeitet und die entstehenden Sonogramme ausgewertet.



Abbildung 15: unterschiedliche Erfassungstechniken: Graben sowie Technik für akustische Erfassung

Im Ergebnis der Untersuchungen zeigte sich, dass im Gelände keinerlei Tondaten, die den Hirschkäferlarven zuzuordnen waren, gewonnen wurden, obwohl nach Gegenprobe mittels Graben Larven nachgewiesen werden konnten. Während der Hälterung von Larven wurden lediglich in drei Einzelfällen Stridulationen beobachtet, die aus den Hälterungsboxen auch ohne verstärkende Technik hörbar waren. Es handelte sich dabei um Stridulationen von bis zu 10 Sekunden Länge mit Pausen von >30 Sekunden und einer Gesamtdauer von stets nur wenigen Minuten.

Die akustische Methode hat sich somit zumindest im vorliegenden Ansatz als unwirksam erwiesen. Dies kann sowohl in technischen Gründen, als auch in der offenbar sehr diskontinuierlichen Stridulation der Larven (soweit zumindest die Beobachtungen in den Transportboxen) liegen.

Im Rahmen anderer Vorhaben (v.a. artenschutzrechtliche Gutachten, die ohnehin von den Büros der Arbeitsgemeinschaft *LUCANUS* erstellt werden), sollen zumindest weitere Versuche mit modifizierter Technik (v.a. Körperschallmikrofone) unternommen werden. Allerdings wären auch Laborversuche mit Hirschkäferlarven sinnvoll, um verlässliche Daten über Anlass, Dichteabhängigkeit und Häufigkeit der Stridulation zu gewinnen.

Als weitere, nicht-invasive Methode wird die Entwicklung von Sensoren diskutiert²⁸, die den von den Larven (bzw. von besiedelten Stubben) erzeugten Geruch (ein Gemisch aus α -Pinen [ein Mono-Terpen, $C_{16}H_{16}$], Caryophyllen und Longifolen [beide Sequi-Terpene, $C_{15}H_{24}$]) erfassen könnten. Dieser Geruch lockt z.B. auch Wildschweine an die Stubben; insbesondere das Longifolen wird von Hirschkäferweibchen genutzt, um eine Überbesiedlung von Stubben zu vermeiden.

Nach Beobachtungen von W. MALCHAU sowie eigenen Beobachtungen gibt es Indizien dafür, dass auch Hirschkäfermännchen ein Pheromon produzieren, wobei dies offenbar nicht wie beim Eremiten für den Menschen wahrnehmbar ist. Hier besteht weiterer Untersuchungsbedarf.

4. Anwenderszenario: Räumlich und zeitlich hochaufgelöste Erfassung im Rahmen eines Monitorings von Säugetieren an drei Durchlässen einer Brücke (MV).

Im Rahmen dieses Szenarios erfolgte eine Überwachung der Migration der Groß- und Mittelsäuger an der Peenebrücke der L35 Brücke in Jarmen. Hintergrund stellte ein Gutachten bezüglich der Nutzung von Brückenunterführungen für Säugetiere dar. Zur Erfüllung der gestellten Aufgabe standen folgende Anforderungen an die Hardware:

- Einbau von Kameras in ca. 6 Meter unterhalb der Peenebrücke bei Jarmen,
- Sicherung des Abbildens der gesamten Unterführungsfläche,
- Anbringen ohne Nutzung des eigentlichen Brückenkörpers (TÜV),
- Sicherung gegen Verrutschen (Wind etc.),
- effektive Möglichkeit zur Überprüfung/Austausch (nur mit Hubbühne),
- Überwachung Energieversorgung bzw. -verbrauch,

²⁸ HARVEY et al. (2011 b)

- Kontrolle Datenfluss und Speicherplatz,
- Abrufen der Daten mittels Wifi.



Abbildung 16: Unterführungen

Zunächst erfolgte die Definition des zu überwachenden Gebietes anhand von Luftbildern/GPS-Koordinaten sowie im Rahmen einer Vor-Ort-Begehung. Hier wurden potentielle Störfaktoren (Funkanbindung, Vegetation, Gebäude u.a.) ermittelt. In der Folge wurde ein spezialisierter und vorortangepaßter Erfassungsaufbaus konzipiert erprobt und in einer spezifischen Messanordnung angebracht (s. Abbildung 17).

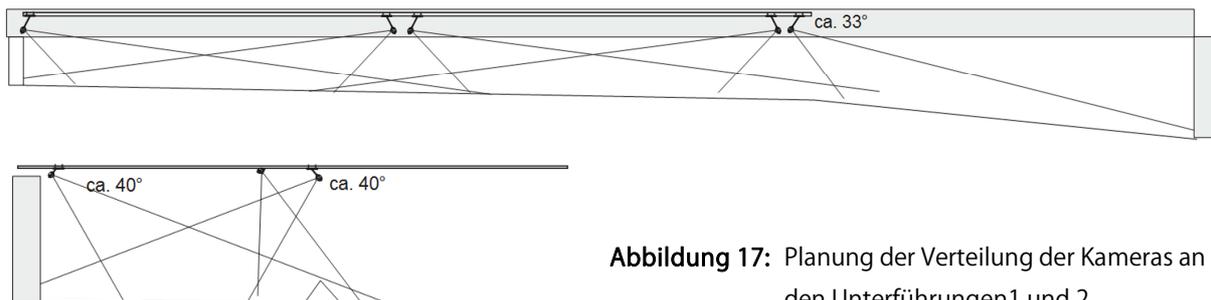


Abbildung 17: Planung der Verteilung der Kameras an den Unterführungen 1 und 2

Nun stand die Aufgabe, nach Festlegung der Parameter sowie deren Anzahl und Messintervalle eine Auswahl einer effizienten Messsensorik und Erfassungsmethodik vorzunehmen. Aufgrund jahrelanger Erfahrungen kamen zur notwendigen Ganztageserfassung somit 10 Wildtierkameras in Anwendung. Es wurde bei der Auswahl beachtet, dass eine digital, Wifi-gestützte Datenübertragung ermöglicht werden kann. Ebenso wichtig wie die Güte der Fotos ist ein effizientes Energiemanagement. Letztlich mussten auch die Sicherheitsanforderungen seitens des Auftraggebers beachtet werden. Somit erfolgte eine Entwicklung und Installation von speziell angepassten Halterungen unter Mitwirkung des Auftraggebers (s. Abb. 18).

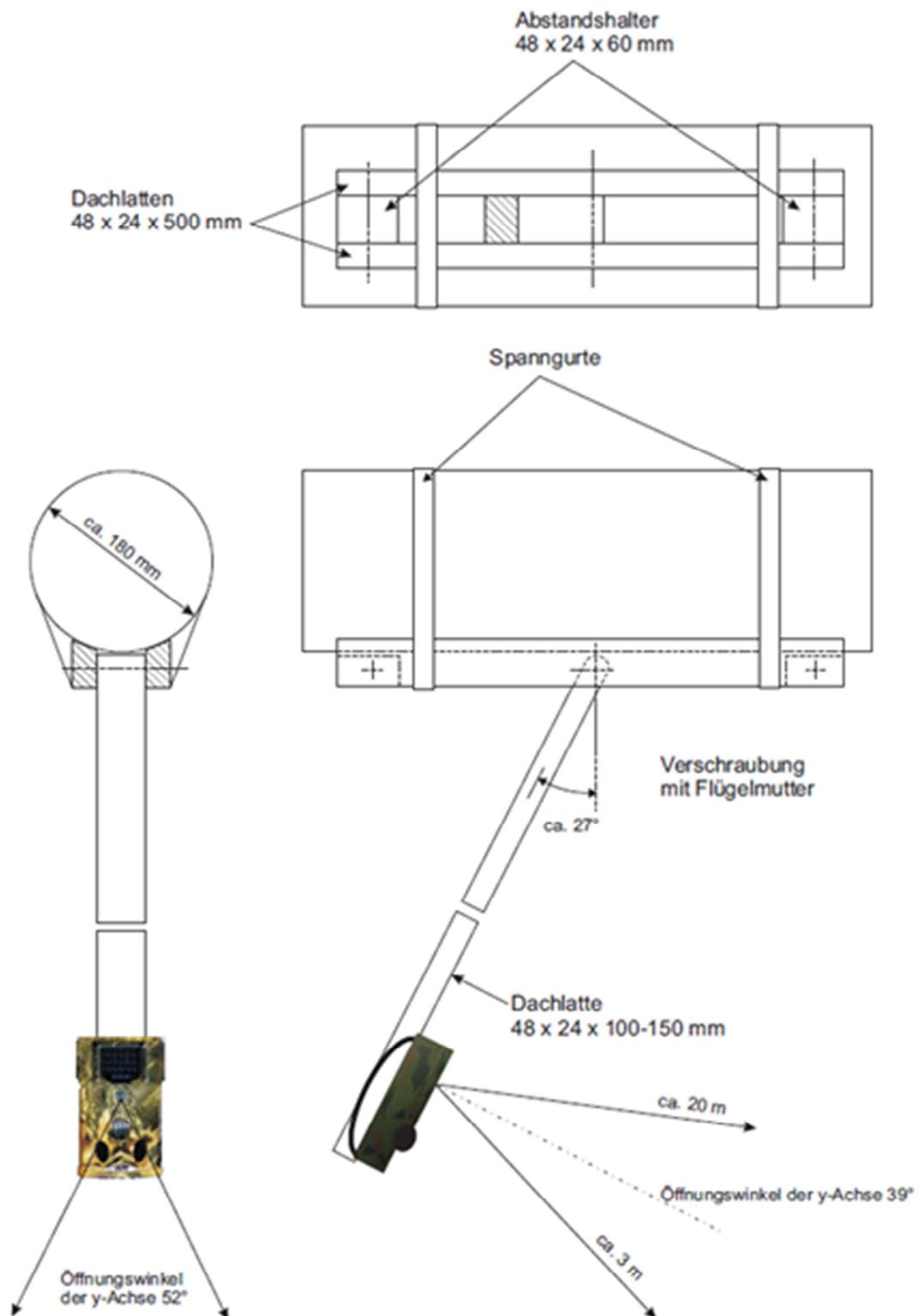


Abbildung 18: Planskizze zum Erfassungsaufbau

Letztlich erfolgte die Zusammenstellung des Messnetzes und Installation der Sensorik im Feld (s. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.9). Der Test lief über den Zeitraum von Januar bis April 2014.



Abbildung 19: Kamerahalterungen am Standort Demonstrator-2, Brücke Jarmen

Bisher mussten die Kameras in regelmäßigen Abständen auf ihre Funktionstüchtigkeit kontrolliert werden. Dies konnte aufgrund der Lage nur mit Hilfe eines Hubsteigers geschehen. Der personelle und technische Aufwand war somit sehr hoch. Das Ziel der sensorgestützten Lösung war eine Überwachung der Batteriespannung und der Kapazität der SD Karte der Kameras. Mit Hilfe des im IHP entwickelten FeuerWhere_Knotens soll der Batteriestatus der Wildkamera und die Anzahl der auf der SD-Karte der Kamera abgespeicherten Bilder ermittelt und gesendet werden.

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt den Aufbau der Messanordnung. Es wurden zwei Sensorknoten für die Überwachung benötigt.

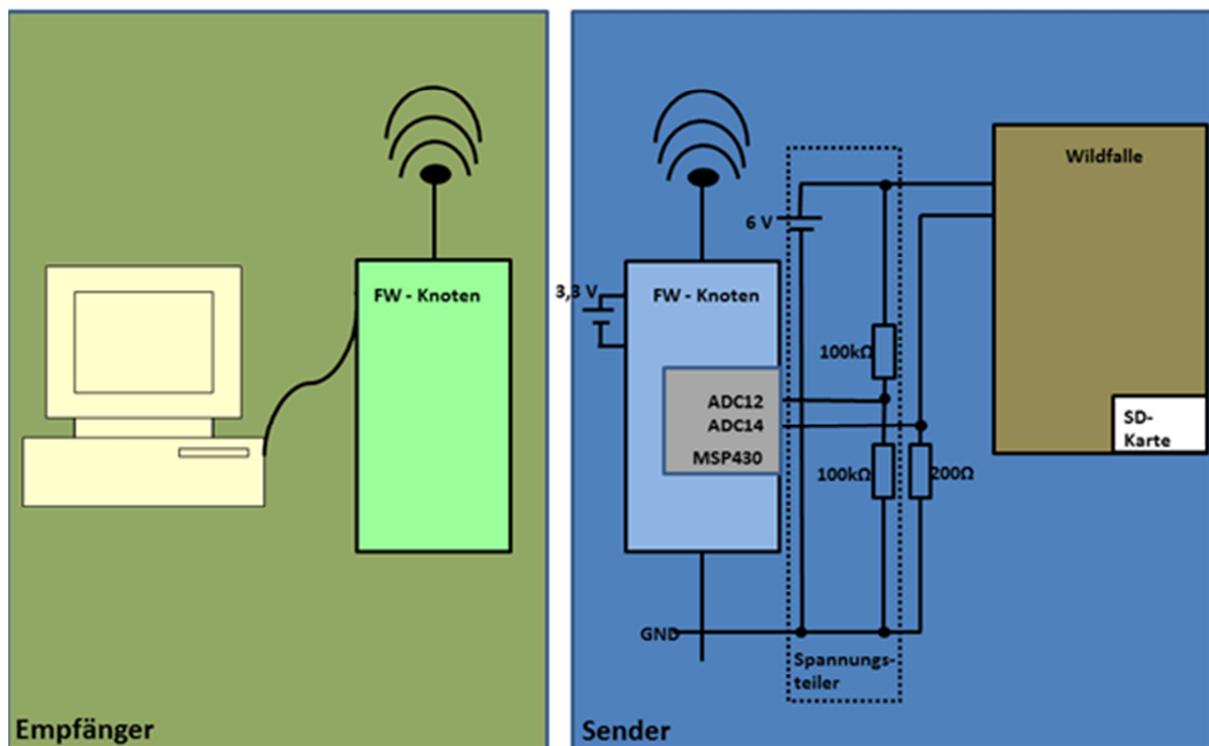


Abbildung 20: Messschaltung Sender und Empfänger

Der Sendeknoten ist mit der Kamera direkt verbunden. Die Batteriespannung der Wildfalle (6V) wird zur Weiterverarbeitung auf dem MSP430 des FeuerWhere-Knotens auf 3V heruntergeteilt. Das Auslösen der Wildfalle und das Abspeichern der Bilder werden über den Spannungsabfall des 200 Ω Strommesswiderstandes detektiert.

Abbildung 20 zeigt ein Foto des Sendeknotens bestehend aus:

- Feuerwhere-Knoten
- 6V Batteriepack – Stromversorgung Wildfalle
- 3,3 FeLi Akku – Stromversorgung Feuerwhereknoten
- Messschaltung (Spannungsteiler, Strommesswiderstand)
- Wildkamera

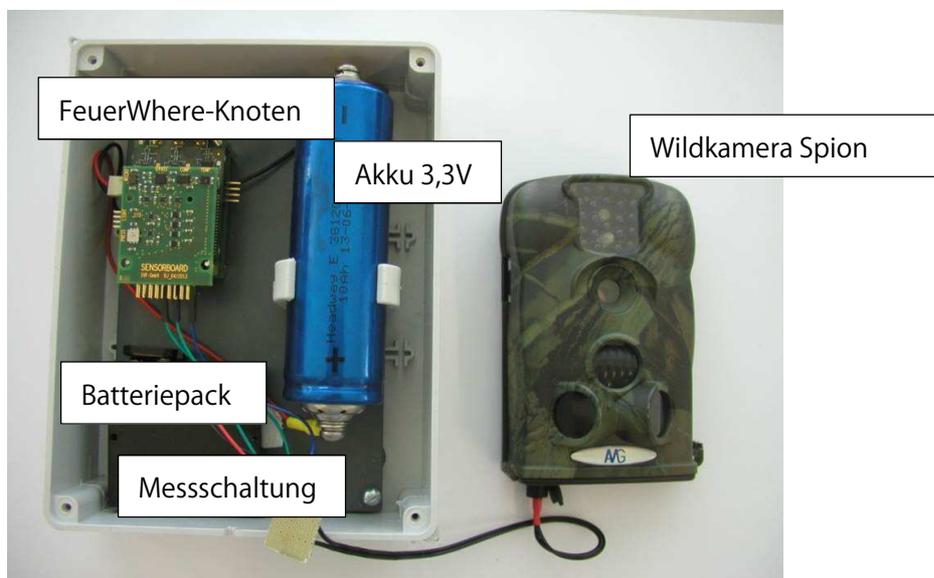


Abbildung 21: Sensor-Knoten mit Fotofalle

Testmessungen des Stromverbrauches der Wildkamera zeigten, dass bei Auslösen der Kamera und der Aufnahme von 3 Bildern in Serie ein Stromverbrauch von 200mA über 10s anfiel.

Die Kamera wurde so eingestellt, dass in einem Intervall von 30s bei Bewegung 3 Bilder in Serie aufgenommen wurden. Über einen Strommesswiderstand wurde der Spannungsabfall ermittelt. Zu Testzwecken wurde der Spannungsabfall am Strommesswiderstand jede Sekunde gemessen und gesendet. Über einen Zeitraum von 10 s betrug der Spannungsabfall bei Auslösen der Kamera durchschnittlich 30mV. Deshalb war davon auszugehen, dass es ausreicht alle 10s den Spannungsabfall zu bestimmen, um Rückschlüsse auf das Auslösen der Kamera ziehen zu können.

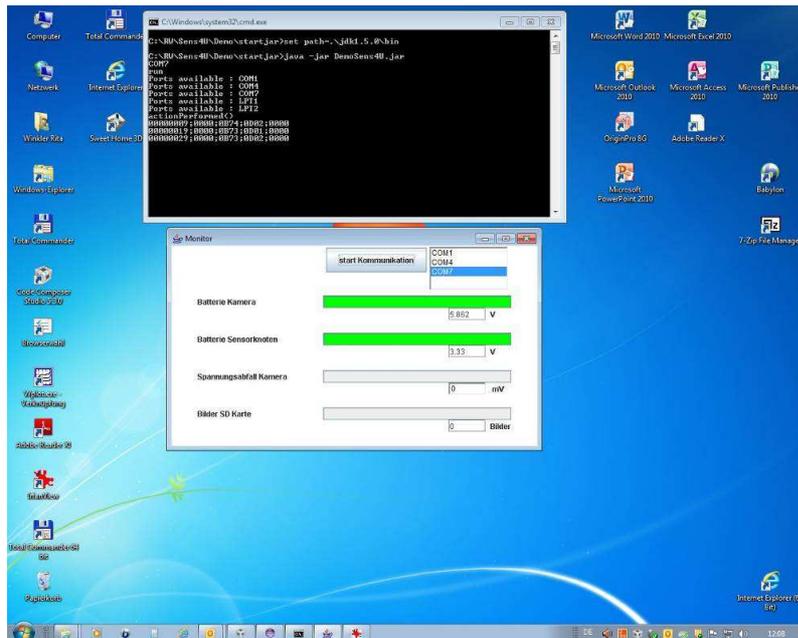


Abbildung 22: Beginn Übertragung Messwerte

Der FeuerWhere-Knoten sendete alle 10s die gemessenen Batteriespannungen, den Spannungsabfall am Strommesswiderstand und die Anzahl der abgespeicherten Fotos an den Empfängerknoten. Hier wurden die Werte mitgeloggt. Die Applikation (s. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. und Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.) lief auf dem am Empfängerknoten angeschlossenen Netbook.

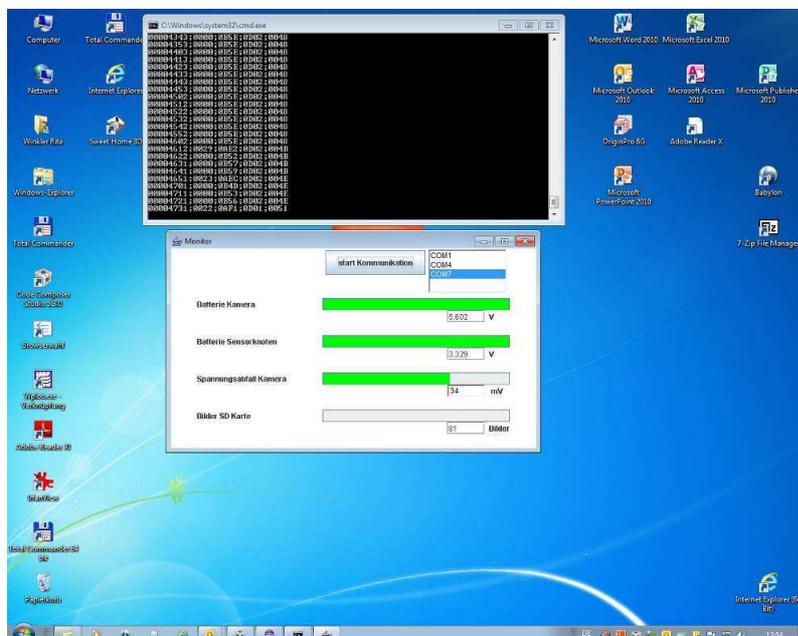


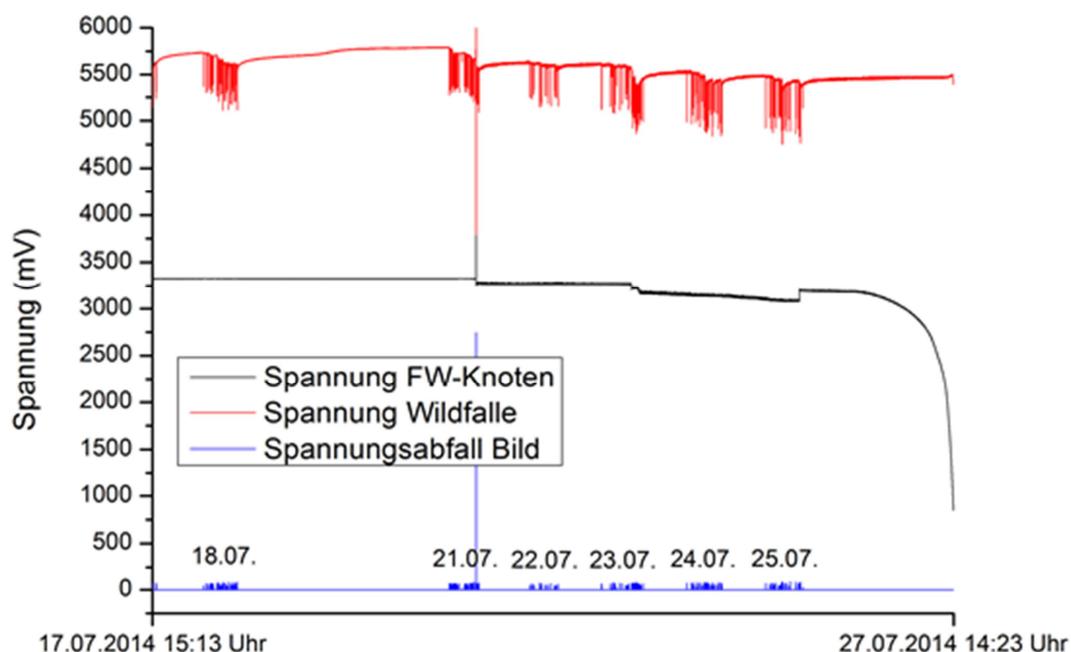
Abbildung 23: Ende Übertragung Messwerte

Mit der Messanordnung ist es möglich, die Batteriespannung von Sensorknoten und Wildkamera zu kontrollieren. Des Weiteren kann die Anzahl der abgespeicherten Bilder bestimmt werden. Es ist aber nicht möglich, die gespeicherten Bilder drahtlos zu übertragen.

Tabelle 14: Testergebnisse der Wildkamera

Phase	Anzahl gemessener Bilder	Anzahl Bilder auf SD-Karte
17.07. 15:13 Uhr – 21.07. 15:33 Uhr	633	629
21.07. 15:49 Uhr – 23.07. 13:57 Uhr	225	850
23.07. 13:57 Uhr – 23.07. 15:58 Uhr	351	1214
23.07. 15:59 Uhr – 25.07. 16:03 Uhr	576	1766
25.07. 16:40 Uhr – 27.07. 14:23 Uhr	45	1808

Die Kamera wurde im Rahmen einer Testmessung so eingestellt, dass bei detektierter Bewegung 3 Bilder in Serie aufgenommen wurden. Die Messung erfolgte in mehreren Phasen. Nach jeder Phase wurde die Anzahl der gemessenen ausgelösten Bilder mit der Anzahl der tatsächlich auf der SD Karte abgespeicherten verglichen. Durch ein Reset des FW-Knotens wurde die gemessene Anzahl der Bilder wieder auf „0“ gesetzt, die Bilder waren aber noch auf der SD-Karte gespeichert.

**Abbildung 24:** Stand Messung

Um die Bilder drahtlos übertragen zu können, ist es denkbar, eine WLAN-Karte im SD Format einzusetzen. Um das WLAN nutzen zu können, muss diese Karte aber über einen längeren Zeitraum mit Strom versorgt werden. Im Betriebsmode der Wildkamera ist dies nicht möglich. Eine Lösung bestünde darin in Intervallen über einen längeren Zeitraum die SD Karte extern mit Strom zu versorgen, z.B. über den Akku des Sensorknotens. Die SD Extend 300 Card von SYCARC, ermöglicht es über den Powerpin eine externe Spannung anzulegen.

Diese Praktische Anwendung des Sensornetzes in einer Demonstrator-2-Anwendung (Offline-Sensorik) übermittelte Daten an den Anwender mittels Wifi-gestützter Datenübertragung. Es war möglich, oberhalb des Untersuchungsansatzes bei der Überfahrt der Brücke sowohl Daten zu sichten, zu überspielen und auch zu löschen. Somit konnte auch eine effiziente Überwachung des

Energiemanagementes und des Speicherplatzes gesichert werden. Zusätzlich war eine Abschätzung über die Ursache möglicher Störungen oder Netzwerkausfälle per Ferndiagnose realisierbar.

Damit wurde eine Effektivierung der Kosten (personeller Einsatz ohne Hubbühne etc.) ermöglicht.

Wünschenswert wäre eine Exportfunktion zur zeitnahen Interpretation der Messwerte in beispielsweise anwendungsorientierte Programme (z. B. Microsoft EXCEL, Access, ArcGIS, MicroStation, Surfer), die im Rahmen dieses Projektes nicht realisiert wurde.

Der Demonstrator wurde auf der Abschlussveranstaltung am 10.07.2014 in der BTU Cottbus vorgestellt. Die Zuschauer zeigten ein reges Interesse sowohl für die Hardware und Software als auch für das Grundkonzept.



Abbildung 25: Koordinator Dr. K. Piotrowski mit dem Demonstrator 2 während der Abschlussveranstaltung
(Quelle: Lausitzer Rundschau v. 25.07.2014)

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der Leistung

Für die im Rahmen dieses Projektes untersuchten Fragestellungen existieren keine allgemein anerkannten oder gar standardisierten Lösungen. Vielmehr wird in einigen Bereichen noch sehr intensiv an ähnlichen bzw. gleichen Fragestellungen geforscht. Die Arbeiten waren also aus wissenschaftlich-technischer Sicht notwendig, um Aussagen zur Umsetzbarkeit der Basisidee des Netzwerkes machen zu können. Zu allen Arbeitspaketen wurden intensive Untersuchungen sowohl theoretischer Natur, wie die Berechnungen bezüglich der möglichen Komprimierung der Daten bei den Amphibien, als auch experimenteller Art, vornehmlich bei den Säugetieren, durchgeführt. Letztlich erfolgte der praxisnahe Test des Demonstrators 2.

4 Voraussichtlicher Nutzen

Unsere Erfahrungen aus vergleichbaren Projekten sowie das Wissen um die Erfordernisse für die Realisierung von Langzeitbeobachtungen^{29,30} sind eine starke Basis für das Erreichen des Zieles des Teilvorhabens: die Entwicklung einer Methodik zur Auswahl geeigneter Komponenten für ein Sensornetzwerk.

Dem Anwender wird auf gutachterlicher Ebene ein vorbereitetes Instrumentarium angeboten, das eine effektive, transparente und den jeweiligen Ansprüchen angepasste Datenerfassung, -weiterverarbeitung und -auswertung ermöglicht. Dabei werden die Anforderungen an Sensornetze vorgegeben, die eine problemorientierte Auswertung der Rohdaten sowie ggf. eine Bereitstellung von Werkzeugen zur Ermittlung komplexer Bewertungskriterien gewährleisten. Damit wird gleichzeitig eine problemadäquate Projektierung unterstützt.

Nach einer erfolgreichen Evaluierung des Demonstrators ist eine Entwicklung zu einem marktreifen Produkt angedacht. Hauptabnehmer des Vertriebes sind Unternehmen der Umweltbranche (Gutachterbüros wie BIOM, Umweltgrößen überwachende Firmen etc.). Wissenschaftliche Institutionen spielen ebenfalls eine nicht zu unterschätzende Rolle, da eine speziell angepasste Sensorik auch bei der Beantwortung wissenschaftlicher Fragestellungen dienen kann.

Die in diesem Teilvorhaben entwickelte Methodik ist die Grundvoraussetzung für eine geeignete Auswahl von Hard- und Software-Modulen aus dem Baukasten-System. Ohne die Ergebnisse dieses Teilvorhabens ist demnach auch eine Produktentwicklung nicht realisierbar. Erst mit einer konkreten Darstellung der notwendigen Komponenten zum Aufbau eines Sensornetzwerkes ist eine Vermarktung möglich. Somit sind die ökonomischen Umsetzungs- und Transferchancen der Ergebnisse des Teilvorhabens als durchaus gut einzuschätzen. Um die Marktchancen langfristig noch zu erhöhen, wird eine Anpassung einzelner Parameter bzw. Auswahlkriterien entsprechend den möglicherweise geänderten Rahmenbedingungen notwendig sein.

Das bisher nur grob abgeschätzte Marktpotenzial der Idee sowie auch die wissenschaftlich-technischen Herausforderungen zeigen, dass mit diesem Projekt durch die Effektivierung von Monitoringvorhaben eine Stärkung der regionalen Wirtschaftsstruktur erreicht werden kann. Zudem versetzt das Teilvorhaben die Länder erstmal in die Lage, eine Langzeitbeobachtung von Umweltdaten entsprechend den gesetzlich vorgeschriebenen Rahmenbedingungen durchführen zu können.

²⁹ BIOM (2010)

³⁰ BIOM (2012)

Sens4U System Vorteile

verringertes Störpotential (lediglich Auf- und Abbau),
messtechnischen Dokumentierung (Kontrolle, Archivierung, Vergleichbarkeit etc. ...),
geringerer personeller Aufwand,
ermöglicht eine Standardisierung,
ermöglicht eine gleichzeitige Erfassung verschiedener Standorte (Vergleichbarkeit).

5 Ergebnisse von dritter Seite

Es sind zum momentanen Zeitpunkt keine FE-Ergebnisse von dritter Seite bekannt, die die wesentlichen Projektziele beeinflussen.

6 Veröffentlichungen des Ergebnisses

A. Sieber, R. Karnapke, J. Nolte, T. Martschei (2011) „Using Sensor Technology to Protect an Endangered Species: a Case Study“, proceedings of the 6th IEEE International Workshop on Practical Issues in Building Sensor Network Applications.

7 Referenzen

- BIOLOGISCHE STATION IM KREIS WESEL E.V. (2009): Der größte Krabbler mit 6 Beinen im Kreis Wesel. - <http://www.bskw.de/tier/hirschkaefer.htm> (letzter Aufruf: 18.04.2013)
- BIOM (2010): Langfristige Sicherung alter Bäume als Lebensräume von Eremit und Heldbock im Biosphärenreservat Spreewald - Biologische Vielfalt im Kontext historischer Ressourcennutzung und NATURA 2000. - 6. Zwischenbericht (Januar - Juni 2010).
- BIOM (2012): Planfeststellungsverfahren Gewässerausbau Cottbuser See, Teil1 - Monitoring Eremit Endbericht zum Monitoring in der Großen Zoßna 2011. - unveröffentl. Gutachten
- BNatSchG (2009): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG). - Artikel 1 G. v. 29.07.2009 BGBl. I S. 2542 (Nr. 51); Geltung ab 01.03.2010
- EBERT, J. & MÜLLER-PFANNENSTIEL, K. (2008): Umsetzung von mit Hirschkäfer-Larven besetzten Baumwurzeln. Eine Maßnahme zur Schadensbegrenzung für eine FFH-Art. – Naturschutz und Landschaftsplanung 40: 106-112
- EBERT, J. (2011): Umsiedlungserfolg von Larven des Hirschkäfers. Ergebnisse einer fünfjährigen Schlüpf-Kontrolle. – Naturschutz und Landschaftsplanung 43: 92-96
- ECKERLEBEN, S. (2006): Die Umsetzung des Umweltrechts der Europäischen Union am Beispiel der FFH-Richtlinie Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Institut für Politikwissenschaft - Proseminar: Das politische System der Europäischen Union, 6. Fachsemester
- Gesetz zum Schutz der Natur und der Landschaft im Lande Mecklenburg-Vorpommern (Landesnaturschutzgesetz - LNatG M-V) in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Oktober 2002
- Gesetz zum Schutz der Natur und Heimat im Saarland - Saarländisches Naturschutzgesetz - (SNG) - vom 5. April 2006* zuletzt geändert durch das Gesetz vom 28. Oktober 2008 (Amtsbl. 2009 S. 3)
- GRÜTZNER, G. (1924/25): Zur Biologie des Hirschkäfers. – Entomologisches Jahrbuch von Krancher 33/34: 130-133
- HARVEY, D.J., GANGE, A.C., HAWES, C.J., RINK, M., ABDEHALDEN, M., AL-FULAIJ, N., ASP, T., BALLERIO, A., BARTOLOZZI, L., BRUSTEL, H., CAMMAERTS, R., CARPANETTO, G., CEDERBERG, B., CHOBOT, K., CIANFERONI, F., DRUMONT, A., ELLWANGER, G., FERREIRA, S., GROSSO-SILVA, J., GUEORGUIEV, B., HARVEY, W., HENDRIKS, P., ISTRATE, P., JANSSON, N., JELASKA, L., JENDEK, E., JOVIC, M., KERVYN, T., KRENN, H., KRETSCHMER, K., LEGAKIS, A., LELO, S., MORETTI, M., MERKL, O., MADER, D., PALMA, R., NECULISEANU, Z., RABITSCH, W., RODRIGUEZ, S., SMIT, J., SMITH, M., SPRECHER-UEBERSAX, E., TELNOV, D., THOMAES, A., THOMSEN, P., TYKARSKI, P., VREZEC, A., WERNER, S. & ZACH, P. (2011 a): Bionomics and distribution of the stag beetle, *Lucanus cervus* (L.) across Europe. – Insect Conservation and Diversity 4: 23-38

- HARVEY, D.J., HAWES, C.J., GANGE, A.C., FINCH, P., CHESMORE, D. & FARR, I. (2011 b): Development of non-invasive monitoring methods for larvae and adults of the stag beetle, *Lucanus cervus*. – Insect Conservation and Diversity 4: 4-14
- MARTIN, O. (1993): Fredede insekter i Danmark. Del 2: Biller knyttet til skov. Eghjotz, *Lucanus cervus* (L.). – Entomologiske Meddelelser 61: 63-69
- MEITZNER, V. & T. MARTSCHEI (2000): Neue Funde europäisch geschützter Insektenarten. – Naturschutzarbeit in Mecklenburg-Vorpommern, 43. JG., Heft 1, 70-71
- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1991): Allgemeine ökologische Umweltbeobachtung - Sondergutachten Oktober 1990. Stuttgart, Metzler-Poeschel, 1991. 71 S.
- RINK, M. (2006): Der Hirschkäfer *Lucanus cervus* in der Kulturlandschaft: Ausbreitungsverhalten, Habitatnutzung und Reproduktionsbiologie im Flusstal. – Dissertation zur Erlangung des Akademischen Grades eines Doktors der Naturwissenschaften. Fachbereich 3: Mathematik/Naturwissenschaften, Universität Koblenz: 151 S.
- RINK, M. & SINSCH, U. (2008): Bruthabitat und Larvalentwicklung des Hirschkäfers *Lucanus cervus* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Lucanidae). – Entomologische Zeitschrift Stuttgart: 118: 229-236
- SACHTLEBEN, J. & M. BEHRENS (2010): Konzept zum Monitoring des Erhaltungszustandes von Lebensraumtypen und Arten der FFH-Richtlinie in Deutschland. – BfN-Skriptem 278, 180 S.
- SCHUMACHER, J. & SCHUMACHER, A. (2003): FFH-Richtlinie und Vogelschutzrichtlinie: Kritik der Europäischen Kommission an der Umsetzung in der Bundesrepublik Deutschland. Naturschutz in Recht und Praxis - online 1: 2-6, www.naturschutzrecht.net/online-zeitschrift/NRPO_03Heft1.pdf.
- STARKE, W. & K. LIPPERT (2011): Ergebnisse des FFH-Monitorings von Arten und Lebensraumtypen und Handlungsbedarf. – Ergebnisse der Tagung am 15.-16.11.2011 in Güstrow, 200 S.
- STEGNER, J. (2014 a): RTW – Regionaltangente West Frankfurt/Main: Tierökologische Erfassungen Hirschkäfer und Heldbock. – Abschlussbericht im Auftrag VON BIOPLAN Leipzig: 46 S.
- STEGNER, J. (2014 b): Vorhaben Stuttgart 21. FFH-Vorprüfung: Tierökologische Erfassungen Hirschkäfer im Rosensteinpark. - Abschlussbericht im Auftrag VON BIOPLAN Leipzig: 51 S.
- STEGNER, J., STZRELZYK, P. & T. MARTSCHEI (2009): Der Juchtenkäfer (*Osmoderma eremita*) eine prioritäre Art der FFH-Richtlinie - Handreichung für Naturschutz und Landschaftsplanung. – VIDUSMEDIA, 2. Auflage 2009
- THEUNERT, R. (2013): Erhaltungszustand der Populationen von Heldbock und Hirschkäfer. Empfehlungen zur Bewertung in Deutschland. – Naturschutz und Landschaftsplanung 45: 108-112
- TOCHTERMANN, E. (1992): Neue biologische Fakten und Problematik der Hirschkäferförderung. – AFZ 6/1992: 308-311