

Bachelorthesis

Entwicklung eines Systems zur Gebäudequartierserfassung von Fledermäusen

Zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science (B.Sc.)

im Studiengang
Naturschutz und Landnutzungsplanung

Von Tim Kuchenbäcker

Prüfer: Prof. Dr. Hermann Behrens
Prof. Dr. Maik Stöckmann

URN: urn:nbn:de:gbv:519-thesis 2021-0151-7

24. April 2021



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Eidesstattliche Erklärung

Ich, Tim Kuchenbäcker, erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher weder gesamt noch in Teilen einer anderen Prüfbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Neubrandenburg, 24. April 2021

—
Tim Kuchenbäcker

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Fledermäuse	2
2.1	Ökologie.....	2
2.2	Quartiertypen	5
2.3	Rechtlicher Schutz von Quartieren	7
2.4	Echoortung und Ihre Erfassung	9
3	Quartiererfassungen	11
3.1	Gebräuchliche Methoden zur Erfassung von Quartieren	11
3.1.1	Methode 1: Gebäudeuntersuchung auf Quartiere	11
3.1.2	Methode 2: Aus- und Einflugkontrollen.....	12
3.1.3	Methode 3: Schwarmsuchen	12
3.1.4	Methode 4: stationäre akustische Erfassung.....	13
3.2	Anwendungsproblematik.....	14
3.3	Neuer Methodenansatz.....	15
4	Entwicklung eines Prototyps	17
4.1	Zielsetzung und Grundüberlegungen.....	17
4.2	Technische Grundlagen	18
4.2.1	Das Abstandsgesetz für Strahlungsquellen.....	18
4.2.2	Das Abstandsgesetz für Schalldruck	18
4.2.3	Bewegungserkennung.....	19
4.3	Umsetzung.....	20
4.3.1	Genutzte Hardware	21
4.3.2	Genutzte Software.....	24
4.3.3	Softwareaufbau	24
4.3.4	Ergebnis	30
5	Diskussion.....	33

5.1	Funktion	33
5.2	Kostenfaktor im Verhältnis zur Qualität und Quantität	34
5.3	Weitere Anwendungsgebiete	36
5.4	Technische Grenzen und Zukunftsaussichten	37
6	Fazit	41
7	Literaturverzeichnis.....	III

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Br. Langohr. Dietz et al. 2016: 353.....	3
Abbildung 2:	Mögliche Fledermausquartiere an Gebäuden, Dietz & Kiefer 2014: 57.....	5
Abbildung 3:	Einschlupföffnung eines Wochenstubenquartier der Zwergfledermaus. Die kleinen schwarzen Punkte an der Wand sind Losung.....	6
Abbildung 4:	Ortungsruf einer Zwergfledermaus. AQES-Aufzeichnung vom 23. März 2021, Neubrandenburg.	10
Abbildung 5:	Schwärmende Zwergfledermäuse vor einer Wochenstube, aufgenommen mit einem Wärmebildgerät 2020.	13
Abbildung 6:	Einsturzgefährdetes Gebäude.....	16
Abbildung 7:	Pixelbewertung der Bewegungserkennung des AQES.	20
Abbildung 8:	Skizze des Hardwareaufbaus.....	23
Abbildung 9:	Hauptmenü des Programms AQES-Konfigurator.....	26
Abbildung 10:	Skizze des Softwareaufbaus	29
Abbildung 11:	AQES Prototyp während eines Testaufbaus.	30
Abbildung 12:	Aufnahme einer Gebäudefassade durch das AQES in 11 Metern Abstand.....	31
Abbildung 13:	Reflektierender Griesel führt zu Falschaufnahmen.	33
Abbildung 14:	Erste durch Bewegung ausgelöste Aufnahme einer Wasserrfledermaus bei Neubrandenburg am 23.03.2021 (Aufnahme ohne Zusatzscheinwerfer).	34

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Genutzte Hardware mit Preisen.	21
Tabelle 2: Gegenüberstellung der üblichen Ausflugzahlung gegenüber dem AQES bezüglich der Kosten, Quantität und Qualität.	35

1 Einleitung

Bei jedem Straßenbau, Gebäudeabriss, jeder Brückensanierung oder Fällung alter Straßenbäume läuft die in Deutschland streng geschützte Fledermaus Gefahr Quartiere zu verlieren, verletzt oder sogar getötet zu werden. Dies gilt es im Vorhinein zu verhindern, indem überprüft wird, ob eine Gefährdung vorliegt. Ist dies der Fall, muss geplant werden, wie diese abgewendet oder ein Ausgleich geschaffen werden kann, sodass nicht nur die Fledermaus, sondern auch das zukünftige Bauvorhaben gesichert werden. Das Problem liegt in der Schwierigkeit der Erfassung von Fledermäusen. Nicht nur weil sie primär in der Nacht aktiv sind, sondern auch weil ihre Quartiere häufig nur mit erheblichem Aufwand zu finden sind. Dies trifft sowohl auf Quartiere an Gebäuden als auch auf natürliche Quartiere in Baumhöhlen zu. Noch schwieriger als das Auffinden der Quartiere an sich ist die Einschätzung, ob das Quartier aktuell benutzt wird, welche Art es nutzt, von wie vielen Individuen es bewohnt wird und wie groß das Quartier ist. Denn insbesondere an Gebäuden liegt das Einflugloch häufig mehrere Meter vom eigentlichen Quartier entfernt (vgl. Fritsch und Benicke 2020: 7). Diese Fragen spielen jedoch im praktischen Naturschutz eine grundlegende Rolle. Soll beispielsweise ein Gebäude abgerissen werden, ist es wichtig diese Fragen ausreichend beantworten zu können. Nur so können erforderliche Ersatz- und Ausgleichsmaßnahmen sinnvoll geplant und umgesetzt werden. Um die genannten Fragen leichter beantworten zu können als es mit den aktuell gebräuchlichen Methoden möglich ist, soll ein technisches Gerät entwickelt werden, mit dem das Erarbeiten und Prüfen einer neuen Methodik zur Gebäudequartiererfassung ermöglicht werden soll. Dazu wird sich mit den Grundlagen der Ökologie der Fledermäuse, deren Erfassbarkeit und Artidentifikation durch Einsatz von Ultraschallmikrofonen, dem rechtlichen Schutz sowie den gebräuchlichen Methoden zur Auffindung von Gebäudequartieren auseinandergesetzt. Daraus folgt die Vorstellung einer Methodik und die Entwicklung eines für diese Methodik geeigneten Quartiererfassungsgerätes.

2 Fledermäuse

In diesem Kapitel wird sich mit der Geschichte, dem äußeren Erscheinungsbild und dem Jahreszyklus von Fledermäusen beschäftigt. Auch wird insbesondere auf die Nutzung der einzelnen Quartiertypen sowie deren rechtlicher Schutz eingegangen. Zuletzt wird die Orientierung der Fledermäuse mittels Echoortung und deren Erfassbarkeit thematisiert.

2.1 Ökologie

Es wird vermutet, dass sich im Laufe der Evolution Fledermäuse bereits vor 70 Millionen Jahren gegen Ende der Kreidezeit von den übrigen Säugetieren getrennt haben und, im Gegensatz zu den meist tagliebenden Vögeln, die Nische der Nacht erobert haben. Die ältesten vollständig gefundenen Fossilien von Fledermäusen sind etwa 50 Millionen Jahre alt und stammen aus dem frühen Eozän Nordamerikas und Europas. Dabei sind vor allem die hervorragend erhaltenen Fossilienfunde aus den Ölschiefern der Grube Messel nahe Darmstadt zu nennen. Diese Funde belegen, dass sich bereits damals Fledermäuse mit Hilfe von Ultraschall orientierten und sich, wie ihre heutigen Nachfahren, unter anderem von Insekten ernährten. (vgl. Dietz et al. 2016: 17).

Fledermäuse (Microchiroptera) gehören neben den Flughunden (Megachiroptera) zu der Ordnung der Fledertiere (Chiroptera). Dabei handelt es sich um die einzige Säugetierordnung, die die Fähigkeit zum aktiven Flug besitzt. Fledermäuse bilden mit etwa 800 Arten weltweit die größere der beiden Unterordnungen der Fledertiere. Dabei kommen in Europa 41 Arten vor, von denen wiederum 25 in Deutschland heimisch sind (vgl. Skiba 2009: 14). Diese heimischen Arten stehen alle auf der Roten Liste der Säugetiere Deutschlands 2020. Die Langflügel-Fledermaus (*Miniopterus schreibersii*) gilt allerdings seit 1958 als verschollen (vgl. Meinig et al. 2021: 17). Das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie Mecklenburg-Vorpommerns listet auf ihrer Internetpräsenz aktuell 17 in Mecklenburg-Vorpommern vorkommende Fledermausarten (Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie o.J.).

Das äußere Erscheinungsbild betreffend ist die Formenvielfalt der Fledermaus enorm. Die Kopfform kann langgezogen bis mopsartig verkürzt sein. Die Ohren können im Vergleich zum Körper riesige Ausmaße annehmen und überdies

verschiedenartig geformt sein. Gleiches gilt für die Flügel. Ebenfalls unerschöpflich vielgestaltet von glatt, kurz, gerunzelt, warzig, bis gesägt und lang, können die Nasenaufsätze und die Nasenform sein. Zwar sind die Fledermäuse im Allgemeinen kleiner als die großen Flughundearten, dennoch gibt es auch dort erhebliche Größenunterschiede. So ist die im tropischen Amerika heimische Große Spießblattnase (*Vampyrum spectrum*) mit einer Kopf- Rumpflänge von 14-16 cm, im Vergleich zu den Zwergfledermausarten (*Pipistrellus*) mit teilweise nur 4cm



Abbildung 1: Br. Langohr. Dietz et al. 2016: 353.

falls schon auf die Vielfältigkeit hin. Zu nennen sind zum Beispiel die Familien der Hufeisennasen, Blattnasen, Schlitznasen oder Langflügelfledermäuse, Sackflügelfledermäuse oder Nacktrückenfledermäuse. Ganz zu schweigen von den einzelnen Arten an sich, wie das in Abbildung 1 gezeigte Braune Langohr (*Plecotus auritus*), die Rauhautfledermaus (*Pipistrellus nathusii*) oder die Fransenfledermaus (*Myotis nattereri*). (vgl. Grzimek 1968: 120- 121).

Auch bei der Nahrung gibt es große Unterschiede. Zwar besteht die Nahrung der Fledermäuse in Europa fast ausschließlich aus Insekten, aber auf alle Arten weltweit bezogen, erstrecken sich die Nahrungsvorlieben von Früchten und Blütenstaub, über Fische, Frösche, bis hin zu Blut von anderen Tieren. Die meisten Fledermausarten jagen hauptsächlich in der Nacht. Eine regelmäßig tagsüber jagende Fledermaus findet sich dagegen etwa im Azoren-Abendsegler (*Nyctalus azoreum*) (vgl. Skiba 2009: 14-15).

Körperlänge oder der Hummelfledermaus (*Craseonycteris thonglongyai*) mit gerade mal 2 Gramm Körpergewicht, ein wahrer Riese. Die Namen der Familien und der einzelnen Arten deuten eben-

Der Jahreszyklus der Europäischen Fledermäuse, insbesondere der heimischen Arten, verläuft wie folgt: In der Zeit von März bis April erwachen die Tiere in den Winterquartieren aus ihrem Winterschlaf. Es ist die Zeit der Wanderung zu den Sommerquartieren. Dabei legen manche Arten Strecken über 1000 Kilometer zurück. So gibt Gunars Petersons zum Beispiel für die Rauhaufledermaus eine maximale nachgewiesene Flugdistanz von 1905 Kilometern in 29 Nächten an (vgl. Pettersons 2004: 36). Dies entspricht einem Schnitt von 65,7 Kilometer pro Nacht. Aber nicht jede Art wandert so weit in ihre Sommerlebensräume. So liegen bei der Art Zwergfledermaus (*Pipistrellus pipistrellus*) im Durchschnitt nur bis zu 20 Kilometer zwischen dem Winterquartier und den Sommerlebensräumen (vgl. Dietz et al 2016: 294). Im Sommerlebensraum angekommen bilden die Weibchen ab Mai die sogenannten Wochenstuben. Dabei werden meist traditionell genutzte Wochenstubenquartiere bezogen. Hier werden die Jungtiere bis zur Selbstständigkeit aufgezogen. Die Wochenstuben lösen sich dann etwa im Juli bis August auf. Die Tiere ziehen gegebenenfalls zu den in dieser Jahreszeit besser ausgestatteten Jagdhabitaten, um sich für den Winter genügend Reserven anzueignen. In diesen Herbstjagdhabitaten haben oft bereits die Männchen einiger Arten ihre Balzquartiere bezogen, um sich mit den wandernden Weibchen zu paaren. Auch wenn es sich hierbei meist um die Jahreszeit mit dem ausgeprägtesten Paarungsverhalten handelt, so wird sich, bis in den Frühling hinein, auch in den Winterquartieren gepaart. Um den Monat Oktober herum ziehen die Tiere dann zu den Winterquartieren, in denen sie den Winter über in einen Winterschlaf fallen. (vgl. Skiba 2009: 17f)

Insgesamt gibt es bei den einzelnen Arten in Aussehen, Nahrungsvorlieben und Wanderverhalten also erhebliche Unterschiede. Auch bei den Ansprüchen an Ort und Beschaffenheit der Quartiere gibt es bedeutende Unterschiede. Dies alles muss bei der Arbeit mit Fledermäusen berücksichtigt werden, um etwa passende Ausgleichsmaßnahmen zu planen oder Quartiere überhaupt erst aufzufinden.

2.2 Quartiertypen



Abbildung 2: Mögliche Fledermausquartiere an Gebäuden, Dietz & Kiefer 2014: 57.

Es gibt eine Vielzahl an unterschiedlichen Quartieren, die durch die Nutzung differenziert und gruppiert werden können. Die wohl bekanntesten Quartiere sind Wochenstubenquartiere. Diese Quartiere werden je nach Art von einigen wenigen bis zu mehreren Hundert weiblichen Individuen aufgesucht, um Ihre Jungen aufzuziehen. Die Anzahl der Weibchen ist dabei von Art zu Art, aber auch innerhalb der Art stark unterschiedlich. Je nach Art gibt es Vorlieben für bestimmte Quartiersstrukturen.

So sind große Wochenstuben des Großen Mausohrs (*Myotis myotis*) häufig in Dachböden von Kirchen oder ähnlichen Gebäuden zu finden. Zwergfledermäuse hingegen nehmen, wie beispielsweise in Abbildung 3 zu sehen, eine Vielzahl an Spaltenquartieren an. Diese reichen von Spalten in Gebäudefassaden, über Spalträumen in Zwischendecken, bis hin zu Holzstapeln und Bäumen (vgl. Skiba 2009: 122 u. 160). Die Quartiere müssen dabei je nach Wetterbedingungen bestimmte klimatische Eigenschaften aufweisen. Reiter und Zahn nennen ein Temperaturoptimum für Wochenstuben der Zwergfledermaus von 27-30°C (vgl. Reiter & Zahn 2005: 80). Die bekannten Winterquartiere von Fledermäusen liegen unter anderem in Höhlen, Kellern, Bunkern und an Gebäuden, aber auch in Bäumen. Sie werden von etwa Oktober bis März aufgesucht und weisen je nach Art Temperaturen von um die 0°C bis etwa 10°C auf. Weitere wichtige Kriterien sind etwa eine gewisse Luftfeuchtigkeit und die Abwesenheit von Zugluft. Fledermäuse sind in der Phase des Winterschlafs besonders anfällig, da sie den ganzen Winter fast ausschließlich von Ihren Fettreserven leben. Die Tiere haben, um Energie zu sparen, ihren Stoffwechsel heruntergefahren und können so auf potenzielle Gefahren nur sehr verzögert reagieren. Auch bedeutet jede Störung und

dem damit einhergehenden reservezehrenden Aufwachen der Tiere eine Gefahr, dass die Tiere nicht mehr genug Fettreserven für den restlichen Winter zur Verfügung haben und so verhungern (vgl. Dietz & Kiefer 2014: 61-63).



Abbildung 3: Einschluöffnung eines Wochenstubenquartier der Zwergfledermaus. Die kleinen schwarzen Punkte an der Wand sind Losung.

Eine weitere Quartierart sind Balzquartiere. Diese liegen häufig bei wandernden Arten entlang der Wanderrouten beziehungsweise an den Herbstjagdhabitaten oder auch in der Nähe oder in den Winterquartieren. Männchen der Rauhaufledermaus zum Beispiel beziehen ihre Balzquartiere und rufen von diesen aus nach vorbeiziehenden Weibchen. Diese Harems umfassen ca. 3-10 Tiere (vgl. Dietz & Kiefer 2014: 337f).

Neben Wochenstuben-, Winter und Balzquartieren gibt es auch noch Zwischenquartiere und Einzelquartiere. Diese dienen in erster Linie nur der Überdauerung des Tages. Sie können je nach Art an allen oben genannten Strukturen

vorkommen, sind jedoch aufgrund der wenigen, bis einzelnen Individuen, die diese Quartiere beziehen, nicht so leicht aufzuspüren. Auch können diese Quartiere aufgrund der weniger hohen Ansprüche einem stärkeren Wandel unterliegen. Bei einigen Fledermausarten verbringen die Männchen den Sommer in Gruppen in sogenannten Männchenquartieren. Bei anderen Arten sind sie aber auch in den Wochenstubengruppen zu finden oder als Einzelgänger anzutreffen.

2.3 Rechtlicher Schutz von Quartieren

Fledermäuse gelten in Deutschland nach dem Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) sowohl als besonders, als auch als streng geschützte Arten. Hierbei nennt § 7 Absatz 2 Nummer 13 BNatSchG die besonders geschützten Arten, sowie § 7 Absatz 2 Nummer 14 BNatSchG alle streng geschützten Arten. In beiden Begriffsbestimmungen werden alle Arten des Anhangs IV der Richtlinie 92/43/EWG, worin auch die gesamte Unterordnung Fledermäuse (Microchiroptera) enthalten ist, genannt. Die relevanten Schutzmaßnahmen sind in den §§ 44 bis 47 des BNatSchG enthalten. Von hoher Relevanz sind die in § 44 Absatz 1 genannten Zugriffsverbote.

„Es ist verboten,

1. wild lebenden Tieren der besonders geschützten Arten nachzustellen, sie zu fangen, zu verletzen oder zu töten oder ihre Entwicklungsformen aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören,
2. wild lebende Tiere der streng geschützten Arten und der europäischen Vogelarten während der Fortpflanzungs-, Aufzucht-, Mauser-, Überwinterungs- und Wanderungszeiten erheblich zu stören; eine erhebliche Störung liegt vor, wenn sich durch die Störung der Erhaltungszustand der lokalen Population einer Art verschlechtert,
3. Fortpflanzungs- oder Ruhestätten der wild lebenden Tiere der besonders geschützten Arten aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören, [...]

(Zugriffsverbote).“ (§44 Absatz 1 BNatSchG)

Nummer 1 nennt die Verbote auf das Individuum bezogen. Damit ist das Nachstellen, Fangen, Verletzen und Töten von Fledermäusen verboten.

Nummer 2 beinhaltet das Verbot einer erheblichen Störung in wichtigen Lebensphasen der Tiere. Diese Störung ist nun nicht mehr auf das Individuum bezogen, sondern bezieht sich auf die lokale Population und auch nur dann, wenn sich der Erhaltungszustand dieser lokalen Population verschlechtert. Die Länderarbeitsgemeinschaft Naturschutz bezeichnet im Zusammenhang mit Fledermäusen die Individuen einer Wochenstube oder eines Winterquartiers als lokale Population (vgl. LANA 2010: 6). Damit bilden Fledermäuse im Jahreszyklus verschiedene lokale Populationen. Gerade in größeren Winterquartieren kommen die Tiere aus verschiedenen Regionen zusammen und bilden während dieser Zeit eine eigene lokale Population. Die Abgrenzung der Wochenstube ist hingegen schwerer. Windeln äußert, dass zumindest einige Fledermausarten, nicht wie üblich angenommen, die Geburt der Jungen in der Wochenstubenkolonie durchführen, sondern einzeln oder in kleinen Gruppen extra geeignete Quartiere aufsuchen. Erst nach der Geburt suchen die Weibchen mit dem festgeklammerten Jungtier die eigentliche Wochenstube auf (vgl. Windeln 2010: 272). Auch wechseln viele Fledermausarten regelmäßig die Wochenstubenquartiere, wodurch sich ein Quartierverbund bildet. Je nach Art kann dieser über mehrere hundert Hektar Fläche verteilt sein (vgl. Dietz et al. 2016: 95 u. 227). Damit muss die Störung eines Wochenstubenquartiers nicht unbedingt zu einer Verschlechterung der lokalen Population führen, wenn der Wochenstubenverband noch über ausreichend Wochenstubenquartiere verfügt. Reicht das Angebot an Wochenstubenquartieren jedoch nur gerade so aus, kann die Störung eines einzelnen Quartiers bereits zu einer Verschlechterung des Erhaltungszustandes der lokalen Population führen.

Nummer 3 verbietet das Beschädigen und Zerstören von Fortpflanzungs- und Ruhestätten. Zu den Fortpflanzungsstätten zählen unter anderem die Wochenstubenquartiere, aber auch die Paarungsquartiere. Unter den Begriff Ruhestätte fallen alle Quartiertypen von Fledermäusen die vorig bereits genannt wurden, sowie alle Tagesquartiere und Zwischenquartiere. Zu diesen Verboten nennt § 44 Absatz 5 Nummer 3 BNatSchG eine Ausnahme: Solange die ökologische Funktion der Fortpflanzungs- und Ruhestätte im räumlichen Zusammenhang weiterhin besteht, liegt der Verbotstatbestand nach § 44 Absatz 1 Nummer 3 BNatSchG nicht vor. Wenn also der lokalen Fledermauspopulation im Umfeld des Eingriffes genügend Ausweichmöglichkeiten zur Verfügung stehen, kann eine

Fortpflanzungs- bzw. Ruhestätte zerstört werden. Diese Ausnahme gilt nur für Eingriffe nach §15 Absatz 1, welche nach § 17 Absatz 1 oder Absatz 3 zugelassen oder von einer Behörde durchgeführt werden, sowie für Vorhaben im Sinne des § 18 Absatz 2 Satz 1.

Die zuvor genannten Zugriffsverbote spielen besonders bei Gebäudeabrissen eine große Rolle und nur mit geeigneten Prüfmethode kann das Eintreten dieser verhindert werden. Die Nummern 2 und 3 des § 44 Absatz 1 BNatSchG beziehen sich auf Strukturen, welche leicht durch zum Beispiel vorgezogene Ausgleichmaßnahmen ausgeglichen werden können, solange die Fledermauspopulationen auch im vollen Umfang erfasst worden sind. Die Nummer 1 des § 44 Absatz 1 BNatSchG ist schwieriger zu erfüllen. So muss vor jedem Gebäudeabriss sichergestellt werden, dass sich in dem Gebäude keine Tiere mehr befinden, die bei den Abrissarbeiten verletzt oder getötet werden können. Am leichtesten lässt sich dies ausschließen, wenn alle für Fledermäuse potenziellen Strukturen erfasst und auf deren Nutzung geprüft worden sind.

2.4 Echoortung und Ihre Erfassung

Die meisten Säugetiere orientieren sich primär mit Hilfe ihrer Augen. Fledermäuse hingegen haben im Laufe ihrer Evolution eine Möglichkeit entwickelt, sich ohne Licht zu orientieren. Sie nutzen dabei selbst erzeugte Laute im Ultraschallbereich. Bei den heimischen Fledermäusen reicht die Frequenzbandbreite der Rufe von etwa 15 kHz bis 100 kHz (vgl. Skiba 2009: 35). Diese werden von Oberflächen reflektiert und aus den Reflektionen erhalten die Fledermäuse ein Bild ihrer Umgebung. Damit können die Tiere auch in völliger Dunkelheit präzise fliegen, Beute orten und diese fangen. Dabei variieren die Rufe von Art zu Art. Man unterscheidet bei den Lautäußerungen prinzipiell zwischen Orientierungsrufen, Sozialrufen und Jagdrufen. Um diese Rufe für das menschliche Gehör hörbar zu machen, gibt es verschiedene technische Geräte wie Fledermausdetektoren oder Echtzeitaufnahmegeräte. Werden diese Lautäußerungen mithilfe von Echtzeitaufnahmegeräten mit Ultraschallmikrofonen aufgezeichnet, lassen sich diese in der Regel einer Art oder zumindest einer Artengruppe zuordnen. Ein Fledermausruf kann mithilfe von vier Parametern grundlegend beschrieben werden: Die Hauptfrequenz (F_{mean}), das Frequenzmaximum (F_{max}), das Frequenzminimum

(F_{\min}) und die Ruflänge (l). Für eine Rufsequenz, welche aus mehreren aufeinander folgenden Rufen besteht, kommt noch der Rufabstand (d) der Einzelrufe hinzu. Darüber hinaus gibt es noch weitere Parameter, wie die Rufform. In der

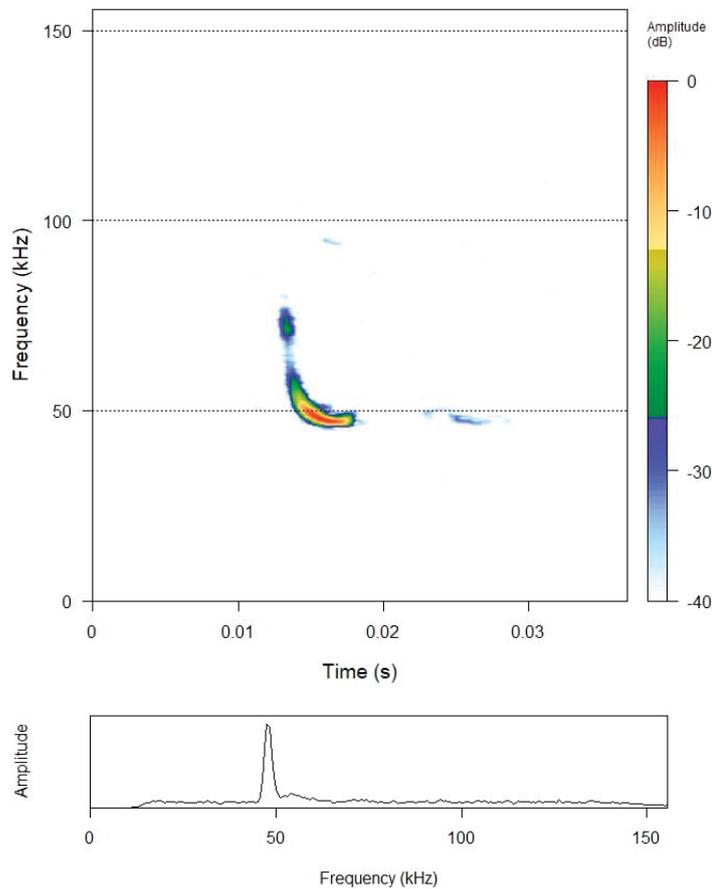


Abbildung 4: Ortungsruf einer Zwergfledermaus. AQES-Aufzeichnung vom 23. März 2021, Neubrandenburg.

(oben) und einem Schalldruckspektrum (unten) zu sehen. Die Hauptfrequenz (F_{mean}) lässt sich aus dem Schalldruckspektrum ablesen und beträgt in diesem Beispiel ca. 47,3 kHz. Aus dem Spektrogramm lässt sich F_{max} mit 78,1 kHz, F_{min} mit 45,7 kHz sowie l mit 5 Millisekunden ablesen. Mit Hilfe dieser Parameter ist bei vielen Aufnahmen eine artgenaue Zuordnung möglich. Doch werden für die sichere Zuordnung in der Regel Rufsequenzen, mit einer bestimmten Mindestzahl von aufeinander folgenden

Rufen, benötigt. Eine in der Praxis oft genutzte Empfehlung stellen Hammer und Marckmann mit den „Kriterien für die Wertung von Artnachweisen basierend auf Lautaufnahmen“ zur Verfügung.

3 Quartiererfassungen

3.1 Gebräuchliche Methoden zur Erfassung von Quartieren

Im Folgenden werden häufig genutzte Methoden, mit deren Hilfe Gebäudequartiere ausfindig gemacht werden können, kurz dargestellt.

3.1.1 Methode 1: Gebäudeuntersuchung auf Quartiere

Die am meisten verwendete Methode zur Erfassung von Quartieren an Gebäuden ist die Potenzialprüfung von Gebäuden. Hierbei werden alle potenziellen Strukturen an einem Gebäude auf Quartiere hin untersucht. Es kommen häufig Endoskopkameras und Detektoren, sowie weitere Hilfsmittel zum Einsatz. Unter anderem kann mit einem Schlauch Luft in mögliche, schlecht einsehbare, potenzielle Quartierspalten gepustet werden. Die, auf die hinein gepustete Luft, mit Fauchen reagierenden Fledermäuse können gehört und so ausfindig gemacht werden. Weiter wird am Gebäude nach Spuren von Fledermäusen gesucht. Dazu zählen Fettablagerungen, Urinspuren und Kotkrümel. Die Fettablagerungen sind erkennbar an einer dunklen Färbung, beispielsweise an Balken. Sie entstehen an den Quartierseingängen und Hangplätzen durch den Kontakt mit den Fledermausflügeln, wodurch jedes Mal ein wenig Hautfett von den Flügeln abgestreift wird. Die Kotkrümel lassen sich unter Hangplätzen oder aber auch, wie bei der Zwergfledermaus, direkt an vertikalen Strukturen haftend in der Nähe der Eingänge finden. Dies kann in Abbildung 3 gesehen werden. Optisch sehen sie auf dem ersten Blick aus wie der Kot von Mäusen, jedoch bestehen sie zum Großteil aus Chitinteilen und lassen sich somit leicht zwischen den Fingern zerdrücken. Der Kot kann, mittels einer mikroskopischen Untersuchung der darin enthaltenen Haare, sogar einer Fledermausart zugeschrieben werden. Auf diesem Wege lassen sich leicht erreichbare Quartiere zuverlässig finden und das Artenspektrum erfassen. Man benötigt jedoch, um alle Gebäudeteile abzusuchen, häufig eine Hebebühne oder eine Leiter. Allerdings weisen Fritsch und Benicke darauf hin, dass eine reine Besatzprüfung mit Endoskopkamera und Luftschlauch oft nicht ausreichend ist. Teilweise sitzen die Fledermäuse mehrere Meter von der eigentlichen Einschluöffnung entfernt, so dass sie weder mit der Endoskopkamera, noch mit der Luftschlauch- Methode ausgemacht werden können (vgl. Fritsch und Benicke 2020: 3).

3.1.2 Methode 2: Aus- und Einflugkontrollen

Eine weitere Methode, die auf die vorige Methode folgend angewendet wird, ist die Aus- bzw. Einflugkontrolle. Hierbei steht der Erfasser unter Zuhilfenahme von einem Ultraschalldetektor und eventuell Sicht Hilfsmitteln, wie einer Taschenlampe oder einem Nachtsichtgerät, mit Blick auf das zu untersuchende Objekt und versucht in den Abend- bzw. Morgenstunden ein- bzw. ausfliegende Fledermäuse zu sichten. Diese Methode wird in der Regel nur gewählt, wenn ein bis wenige Quartiere vermutet werden und deren ungefähre Lage bereits bekannt ist, oder vermutet wird. Bei dieser Methode können schnell Fehler geschehen, denn nicht immer ist der Erfasser bei voller Aufmerksamkeit und hat optimale Sicht. Auch wechseln Fledermäuse unterschiedlich häufig ihre Quartiere, weshalb ein Verpassen der Fledermäuse bei wenigen Wiederholungen möglich ist.

3.1.3 Methode 3: Schwarmsuchen

Eine Methode der Erfassung von Fledermausquartieren ist die Schwarmsuche. Fledermäuse haben die Angewohnheit, je nach Wetterlage, Jahreszeit und Art, vor den Eingängen ihrer Quartiere zu Schwärmen. Dabei fliegen die Fledermäuse zum Beispiel in das Quartier immer wieder ein und aus, oder fliegen den Quartiereingang immer wieder an, um kurz vorher abzdrehen und kreisend im unmittelbaren Luftraum vor dem Quartier zu fliegen. Dieses als Schwärmen bezeichnete Verhalten ist in der Intensität jahreszeitabhängig. Primär schwärmen Fledermäuse vor Wochenstuben und Winterquartieren. So schwärmen zum Beispiel die Weibchen der Zwergfledermaus oft intensiv in den frühen Morgenstunden und in warmen Nächten vor den Wochenstubenquartieren. (vgl. Dietz & Kiefer 2014: 64f) Dieses Verhalten macht man sich zu Nutze, indem man versucht, unter Zuhilfenahme von Fledermausdetektoren und Sichthilfen schwärmende Fledermäuse und so auch ihre Quartiere zu finden. In Abbildung 5 sieht man schwärmende Zwergfledermäuse, die mit einem Wärmebildgerät aufgenommen wurden. Einzelquartiere können bei dieser Methode nur zufällig entdeckt werden, da das Ziel der Schwarmsuche eigentlich ist, mehrere zeitgleich schwärmende Fledermäuse zu finden. Dafür kann der Erfasser mit dieser Methode mehrere Gebäude bis ganze Siedlungsbereiche abdecken.



Abbildung 5: Schwärmende Zwergfledermäuse vor einer Wochenstube, aufgenommen mit einem Wärmebildgerät 2020.

3.1.4 Methode 4: stationäre akustische Erfassung

Bei der stationären akustischen Erfassung kommen automatische akustische Erfassungssysteme zum Einsatz. Diese Geräte erlauben eine automatisierte Aufnahme von Ultraschallereignissen über die ganze Nacht an einem Ort. Damit können alle Fledermausrufe aufgezeichnet werden. Die Auswertung der Aufnahmen entspricht der im Kapitel 2.4 aufgeführten Methode. Anhand der Aktivität in den Aufnahmen kann man im Nachhinein je nach Umfeld auf mögliche Wochenstuben- oder Winterquartiere in der Umgebung schließen. Jedoch erlauben die Geräte nur eine Aussage über die Anwesenheit von Fledermäusen in der Umgebung des Gerätes. Es ist nur in Ausnahmesituationen und unter Zuhilfenahme anderer Methoden möglich Quartiere mit dieser Methode sicher verorten zu können. Auch lässt diese Methode nur wenig Rückschlüsse auf die Anzahl an Individuen in einem Quartier zu.

3.2 Anwendungsproblematik

Für die meisten Fragestellungen ist eine Mischung aus den genannten Methoden unabdingbar. Soll zum Beispiel ein Gebäude abgerissen werden, muss als erstes das Potenzial des Gebäudes überprüft werden. Dies erfolgt nach der Methode 1. Werden an dem Gebäude dann mehrere als Wochenstubenquartiere geeignete Strukturen gefunden, die durch Fledermäuse genutzt werden, muss vor dem Abriss sichergestellt werden, dass die Zugriffsverbote aus §44 BNatSchG nicht eintreten. Um das Verbot der Zerstörung der Fortpflanzungs- und Ruhestätten mit der Ausnahme aus §44 Abs. 5 Nummer 3 umgehen zu können, muss die ökologische Funktion der vom Eingriff betroffenen Fortpflanzungs- bzw. Ruhestätten im räumlichen Zusammenhang nach der Zerstörung weiterhin erfüllt sein. Um die Erfüllung dieser Bedingung abschätzen zu können, müssen Erkenntnisse über die Art, die Populationsgröße und die alternativen Quartiere in der Umgebung gegeben sein. Sind die Quartiere erreichbar, lässt sich beispielsweise anhand von Kotproben die Art feststellen. Die Populationsgröße lässt sich nur schwer oder gar nicht, direkt aus dem Quartier ableiten. Oft sind Quartiere größer als sie erscheinen, wie Fritsch und Benicke anmerken (vgl. Fritsch und Benicke 2020: S. 3). Eine Erfassung der Populationsgröße lässt sich oft nur über eine Aus- und Einflugkontrolle ermöglichen. Jedoch werden Wochenstubenquartiere während der Wochenstubenzeit häufig gewechselt. Es kann also durchaus sein, dass je nach klimatischen Bedingungen die Quartiere, während der angesetzten Termine, nicht besetzt sind. Die Hinweise zur Eingriffsregelung in Mecklenburg-Vorpommern sehen für die Suche von Wochenstuben zum Beispiel zwei Begehungen als Mindestzahl vor (vgl. Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt 2018: 18). Weiter sind bei mehreren Quartieren oft mehrere Erfasser nötig. Dadurch steigt der Aufwand für angemessene Kartierarbeit meist deutlich. Dieser Situation kann durch Nutzung moderner Techniken entgegengewirkt werden. So gibt es Lichtschranken, wie zum Beispiel der BatCounter von Apodemus Field Equipment, die Ein- und Ausflüge aus Quartieren aufnehmen und so ein Bild über die Populationsgröße ermöglichen. Dieses System lässt sich jedoch nur bei kleinen deutlich lokalisierbaren Einflugöffnungen anwenden und für die Installation muss das Einflugloch erreicht werden können. Auch gibt es Bewegungsmelder auf Grundlagen von PIR-Sensoren wie der Motionfox Mini von Scantronik

Mugrauer GmbH. Dieser kann jedoch einen Ein- bzw. Ausflug nicht von einem Vorbeiflug unterscheiden. Auch bei diesem Gerät muss das Einschluflloch direkt bekannt sein.

3.3 Neuer Methodenansatz

Wie im vorherigen Kapitel beschrieben, kann die Erfassung von Quartieren mit einem hohen Aufwand verbunden sein. Dies trifft insbesondere bei der Erfassung von Populationsgrößen einer Wochenstubenkolonie oder dem Auffinden von Quartieren an schwer erreichbaren Stellen zu. Durch die folgend beschriebene Methode soll dieser Aufwand deutlich minimiert werden. Der Grundgedanke ist hierbei, eine Ein- und Ausflugkontrolle von Quartieren ohne genau bestimmbare Einflugöffnungen automatisiert durchführen zu können. Dies soll mit einer Kombination aus visueller und akustischer Überwachung einer bestimmten Lokalisation, bzw. im Falle eines Gebäudes, einer Fassade oder eines Fassadenteils, möglich gemacht werden. Übernehmen automatisierte Geräte stellenweise die Arbeit von Erfassern, bietet dies zahlreiche Vorteile. Unter anderem können die Personalkosten und damit die Anzahl der Arbeitsstunden, die für eine Prüfung von Nöten sind, gesenkt werden. Auch ist das Übersehen von Fledermäusen, aufgrund von Unaufmerksamkeit oder schlechten Sichtverhältnissen, durch automatisierte Geräte bei richtiger Einstellung und Verwendung nicht möglich. Zusätzlich können automatische Geräte nachvollziehbare und belastbare, statistisch gesicherte Beweise erbringen. Das Grundprinzip der visuellen Überwachung soll hierbei die Bewegungserkennung im Bild sein. Dabei werden einzelne aufgenommene Bilder miteinander verglichen und so eine Veränderung als Bewegung erkannt und aufgezeichnet. Die akustische Überwachung ist ähnlich. Hier jedoch löst ein Geräusch mit einem bestimmten Schalldruckpegel, der einen festgelegten Wert überschreitet, eine Aufnahme aus. Die eigentliche Untersuchung soll dabei wie folgt ablaufen: Es wird vor die zu untersuchende Stelle ein Gerät aufgestellt und ausgerichtet. Das Gerät überwacht für einen vorher eingestellten Zeitraum autark die Stelle auf Bewegung und nimmt ein Video jeder erkannten Bewegung, sowie eine Audioaufnahme jedes erkannten Geräusches auf. Anschließend kann das Gerät eingesammelt und ausgelesen werden. Die

Videos werden gesichtet und auf Fledermäuse geprüft. Die Audioaufzeichnungen werden so verarbeitet, wie dies für automatische akustische Erfassungssysteme für Fledermäuse üblich ist. Die Ergebnisse beider Datensätze können am Ende vom Erfasser über die Zeitstempel miteinander verknüpft werden. So können Fledermausrufe den Aufnahmen zugeordnet werden. Als Ergebnis hat man dann die Anzahl und Art der Fledermäuse, sowie die genaue Lage der Einflugöffnungen. So können nötige Maßnahmen genau auf die Population und das Artenspektrum angepasst werden. Werden diese Geräte flächendeckend um nicht begehbare Gebäude, wie beispielsweise das Gebäude in Abbildung 6, mit vorhandenem Potenzial für Quartiere aufgestellt, lässt sich so auch eine Aussage über die Nutzung eines Gebäudes durch Fledermäuse treffen, ohne das Gebäude betreten zu müssen.



Abbildung 6: Einsturzgefährdetes Gebäude.

4 Entwicklung eines Prototyps

4.1 Zielsetzung und Grundüberlegungen

Um den Methodenansatz in Kapitel 3.3 durchführen zu können muss ein Gerät entwickelt werden, das alle nötigen Funktionen aufweist. Dieses automatische Quartiererfassungssystem (weiter AQES) sollte nach aktuellen Vorstellungen zwei Grundeigenschaften aufweisen. Zum einen die visuelle Bewegungserkennung und Videoaufzeichnung in der Dämmerung und bei Nacht und zum anderen die automatische Aufzeichnung von akustischen Ereignissen im Ultraschallbereich. Weiter sollte das AQES energetisch autark sein, also über einen eigenen Energiespeicher verfügen. Auch muss es mobil genug sein, um es einfach zu den Untersuchungsstandorten transportieren zu können. Das Gerät muss über eine Kamera verfügen, die Aufnahmen in der Dämmerungsphase und bei Nacht ermöglicht. Passive Videoaufzeichnungen mit Wärmebildkameras oder Restlichtverstärker sind zwar aufgrund des geringen Strombedarfs und der hohen Reichweite erste Wahl, jedoch sind diese Bauteile aktuell noch sehr teuer in der Anschaffung und finden deswegen im Zusammenhang dieser Arbeit keine Anwendung. Die Wahl für den Prototypen fiel auf ein kostengünstigeres System, bei dem eine Lichtquelle den zu untersuchenden Raum ausleuchtet, damit einem handelsüblichen Videochip genug Licht für eine qualitativ ausreichend Aufzeichnungen zur Verfügung steht. Da Licht im sichtbaren Spektrum das Verhalten von Fledermäusen beeinflusst, wird ein für Fledermäuse nicht sichtbares Lichtspektrum um 850nm Wellenlänge, dem Nahinfrarotbereich (NIR) genutzt (vgl. Feller et al. 2009; Zhao et al. 2009; Wang et al. 2004). Zur Aufzeichnung wird eine Kamera ohne IR-Sperrfilter verwendet. Diese ist in der Lage das von der Lichtquelle erzeugte Licht aufzuzeichnen. Weiter sollte das System über eine integrierte Bewegungserkennung verfügen. Der Grund hierfür ist das Entstehen von großen Datenmengen während der Videoaufzeichnung. Wenn nur noch Sequenzen aufgezeichnet werden, die für die Untersuchung interessant sein könnten, also Bewegungen vor der Kamera, reduziert sich die Datenmenge je nach Situation und Einstellungen der Bewegungserkennung erheblich. Zudem sollte das System über eine automatische Aufnahme von Ultraschall verfügen, um eine Artidentifikation zu ermöglichen. Auch hier sollten nur Aufnahmen bei einem Ultraschalleignis, in diesem Fall dem Ruf einer Fledermaus, entstehen. Um das

Kameramodul ausrichten zu können, sollte ein Videostream bereitgestellt werden der mit handelsüblichen Smartphones oder Laptops per WLAN abrufbar ist. Als eine geeignete Mindestlaufzeit für die energetische Versorgung werden als Mindestmaß 10 Stunden angesetzt. Damit ist eine Aufnahme über eine ganze Nacht während der Wochenstufenphase bzw. fünf mal zwei Stunden Aufnahme in der abendlichen Ausflugsphase möglich.

4.2 Technische Grundlagen

Folgend werden einige technische Grundlagen kurz erläutert. Diese Grundlagen sind Bestandteil späterer Ausführungen.

4.2.1 Das Abstandsgesetz für Strahlungsquellen

Eine wichtige Grundlage, um bei dem geplanten System die Leistungsfähigkeit einschätzen zu können und somit die Grenzen verstehen zu können, ist die Grundlage der Lichtausbreitung nach $I_2 = I_1 \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$. Bei diesem System wird für die Beleuchtung des Untersuchungsraumes ein NIR-Strahler verwendet. Da sich Licht in einem dreidimensionalen Raum ausbreitet, nimmt seine Intensität mit Verdoppelung der Distanz um 75% ab. Dieses Prinzip wird durch das Abstandsgesetz beschrieben. Danach nimmt die Intensität des Lichts I mit Verdopplung der Entfernung um 3/4 des Ursprungswertes ab. Hat man nun auf 5 Meter Entfernung eine angenommene Leuchtwirkung von 100%, beträgt die Leuchtwirkung auf 10 Meter nur noch 25% und auf 20 Meter nur noch 6,25%. Um auf 10 Meter die gleiche Intensität zu erreichen, wie auf 5 Metern, muss die Lichtquelle viermal stärker sein. Dabei würde jedoch auf 20 Meter weiterhin nur eine Intensität von 25% gegeben sein und auf 5 Meter dagegen eine Intensität von 400%. Die Objekte im Bereich um 5 Meter würden somit überbelichtet werden, jedoch sind die Objekte im Bereich um 10 Meter dann ausreichend ausgeleuchtet.

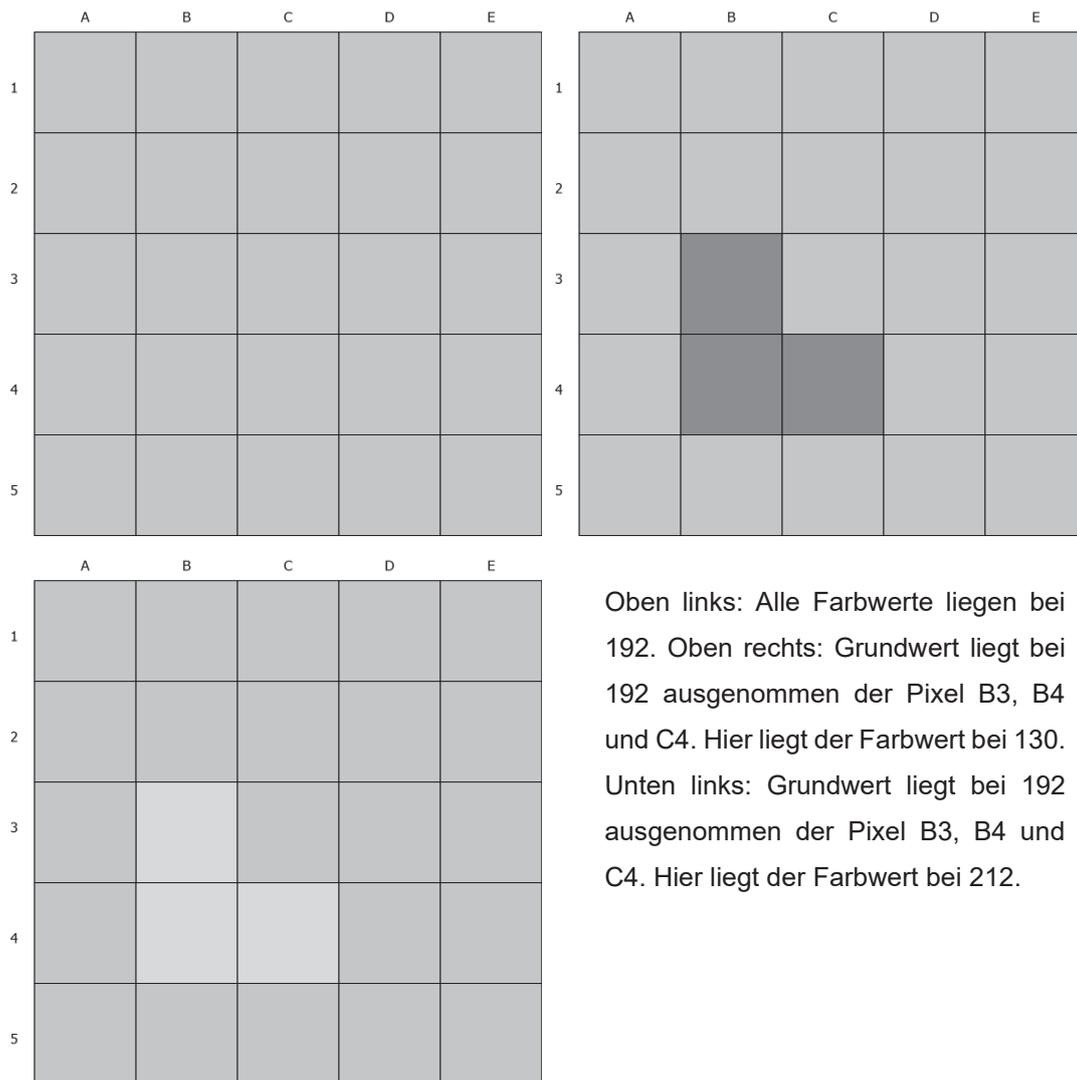
4.2.2 Das Abstandsgesetz für Schalldruck

Ähnlich wie bei Strahlungsquellen wie zum Beispiel Lichtquellen, nimmt auch der Schalldruck in Abhängigkeit des Abstands zur Quelle ab. Jedoch handelt es sich hierbei um eine lineare Feldgröße. Deswegen halbiert sich der Schalldruckpegel mit Verdoppelung der Distanz und es gilt daher $p_2 = p_1 \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)$. Beträgt der

Schalldruckpegel [p_1] einer Fledermaus in 5 Meter Entfernung 100%, so sinkt der Wert bei 10 Metern auf 50% und bei 50 Metern 10%. Dabei entspricht die Halbierung des Schalldruckpegels 6dB.

4.2.3 Bewegungserkennung

Der hier genutzte Algorithmus zur Bewegungserkennung vergleicht die Farbwerte eines jeden Pixels, mit den Werten des gleichen Pixels im darauffolgenden Bild. Übersteigt die Differenz der Pixel einen bestimmten Schwellenwert, so wird dies als Veränderung detektiert. Wird eine bestimmte Anzahl an Pixeln mit Veränderung erkannt, wird dies als Bewegung eingestuft. Folgend soll das Ganze vereinfacht an einem Beispiel erläutert werden. Es handelt sich um eine Auflösung mit 5 x 5 Pixeln mit monochromer 8 Bit Farbtiefe, also 25 Pixeln gesamt und 256 möglichen Pixelwerten. Der Farbwert eines Pixels liegt zwischen 0 und 255, wobei 255 Weiß entspricht. In der Abbildung 7 ist oben links ein Bild zu sehen, bei dem alle Pixel die gleiche Farbe mit dem Wert 192 aufweisen. Erscheint nun ein Objekt in L Form im Sichtfeld, so ändert sich der Pixelwert an dieser Stelle. Im Falle des Bildes oben rechts weisen die Pixel B3, B4 und C4 nun einen Farbwert von 130 auf. Die Differenz der drei Pixel zum Vorbild beträgt je 62. Würde man eine Einstellung wählen, in der der Schwellenwert der Farbwerte bei 32 und die Mindestanzahl, der sich verändernden Pixel bei 3 liegen würde, so ist dies eine Bewegung, die eine Videoaufzeichnung auslösen würde. Wenn, statt dem Bild oben rechts, das Bild unten links auf das Bild oben links folgen würde, kommt man zu einem anderen Ergebnis. Bei dem Bild unten links betragen die Pixelwerte der Pixel B3, B4 und C4 212. Die anderen Pixel haben unterändert den Wert 192. Mit den genannten Einstellungen würde diese Bildveränderung nicht als Bewegung erkannt werden, da die drei Pixel sich nicht über den Schwellenwert von 32 verändert haben.



Oben links: Alle Farbwerte liegen bei 192. Oben rechts: Grundwert liegt bei 192 ausgenommen der Pixel B3, B4 und C4. Hier liegt der Farbwert bei 130. Unten links: Grundwert liegt bei 192 ausgenommen der Pixel B3, B4 und C4. Hier liegt der Farbwert bei 212.

Abbildung 7: Pixelbewertung der Bewegungserkennung des AQES.

Auf dieser Grundlage beruht die Bewegungserkennung. Es gibt darüber hinaus noch deutlich komplexere Algorithmen, auf die jedoch hier nicht weiter eingegangen wird.

4.3 Umsetzung

Im Folgenden werden die für dieses Projekt benutzten Bauteile und Softwares vorgestellt. Kleinbauteile wie Kabel, Stecker etc. werden nicht extra einzeln aufgeführt.

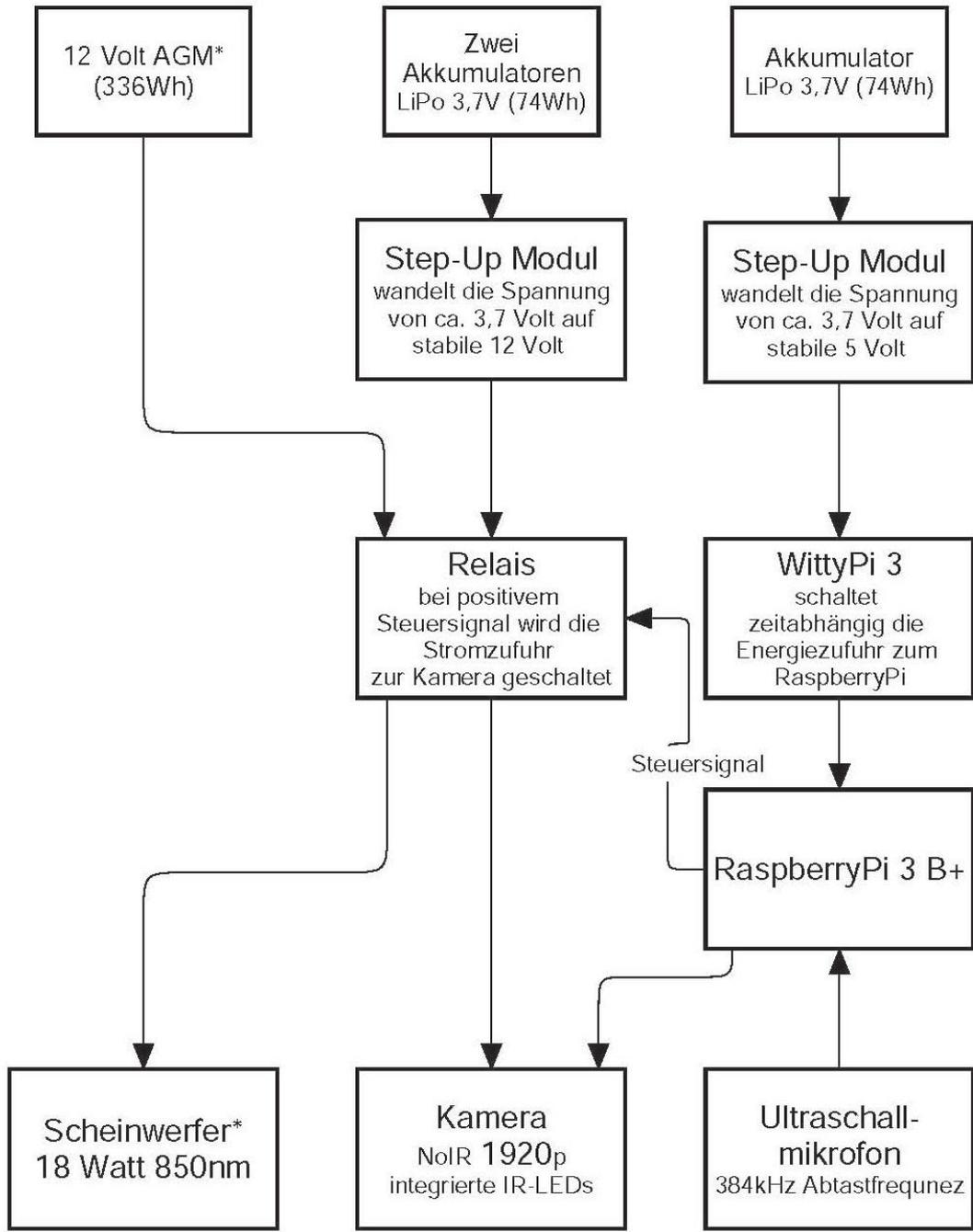
4.3.1 Genutzte Hardware

Bezeichnung	Preis netto
Raspberry Pi 3B+	29€
WittyPi 3	21€
Dodotronic Ultramic 384K BLE	290€
Reolink RLC-410-5MP IP Kamera	53€
3x Eremit 3.7V 20.000mAh High Cap	93€
B&W Outdoorcase 1000	26€
Spannungsregler	5€
Relais 5V	4€
Kleinbauteile wie Litzen, Stecker, etc.	30€
18 Watt NIR Scheinwerfer	51€
Panasonic AGM LC-XC1228P 12V 28Ah	143€
Gesamtkosten	745€
Bei den Preisen handelt es sich um die zum Zeitpunkt des Kaufes der Geräte bezahlten Preise. Versandkosten wurden nicht berücksichtigt.	

Tabelle 1: Genutzte Hardware mit Preisen.

Bei der Hardware wurde bewusst darauf Wert gelegt, dass die Teile günstig und leicht zu bekommen sind. Die Abbildung 8 zeigt den schematischen Aufbau des AQES. Als Basis wurde ein Raspberry Pi 3B+ gewählt, der mit seinen Schnittstellen die Anbindung verschiedenster Sensoren und weiterer Hardware ermöglicht. Zudem ist der kleine Computer ausreichend leistungsstark und kommt mit relativ wenig Energie aus. Der Raspberry Pi verfügt nicht über eine Real Time Clock (RTC) und damit über die Fähigkeit sich in Abhängigkeit einer vorprogrammierten Uhrzeit automatisch ein- und auszuschalten. Diese Funktion wird jedoch benötigt, damit das Gerät nur angeschaltet ist, wenn es aufzeichnen soll, um möglichst wenig Energie zu verbrauchen. Damit dies möglich ist, wurde das WittyPi 3 Board der Firma UUGEAR installiert. Dieses ermöglicht ein zeitgesteuertes An- und Ausschalten. Als Kameramodul kommt eine einfache Überwachungskamera der Firma Reolink zum Einsatz. Diese Kamera besitzt einen 1/2,7 Zoll CMOS Bildsensor, einen automatisch klappbaren Infrarotfilter und eingebaute Nahinfrarot-LEDs. Die NIR-LEDs aktivieren sich automatisch bei Dunkelheit. Verbunden ist die Kamera mit dem Raspberry Pi 3B+ über ein

Ethernetkabel. Die Stromversorgung der Kamera wird durch den Raspberry Pi 3B+ über ein Relais geschaltet. Für die Aufnahme von Ultraschall findet ein 384K BLE Ultraschallmikrofon des italienischen Herstellers Dodotronic Verwendung. Mit einer Abtastrate von 384 kHz ermöglicht es Aufnahmen bis 192 kHz und dank der digitalen USB-A Schnittstelle lässt es sich leicht in Projekte integrieren. Als Hauptstromquelle sollte anfangs ein 12 Volt AGM Akkumulator dienen, von welchem jedoch, aufgrund der Leistungsdichte von etwa 30 Wattstunden pro Kilogramm, Abstand genommen wurde. Aktuell versorgen zwei Lithium Polymer Zellen (kurz LiPo) mit einer Nennspannung von 3,7 Volt, einer Kapazität von je 74 Wattstunden und einer Leistungsdichte von 227 Wattstunden pro Kilogramm das AQES. Dabei versorgt eine LiPo Zelle den Raspberry Pi und die andere die Kamera mit Strom. Da der Raspberry Pi eine Eingangsspannung von 5 Volt und die Kamera von 12 Volt benötigt, werden die 3,7 Volt der LiPo Zellen mit einem Spannungsregler des Typs LM2596S auf 5 Volt bzw. 12 Volt konvertiert. Das ganze System wurde für den Transport und zum Witterungsschutz in einem Outdoorkoffer installiert. Die Kamera wurde auf einem Fuß montiert, der das Anbringen an ein handelsübliches Stativ mit einer 1/4 Zoll Aufnahme ermöglicht. Das Ultraschallmikrofon kann mit einem 5 Meter USB-Verlängerungskabel näher an die Untersuchungsfläche heran gestellt werden, um bessere Audioaufnahmen zu ermöglichen. Auch das Mikrofon kann mittels einer Halterung auf einem Kamerasativ befestigt werden. Das System ohne Stative hat ein Gesamtgewicht von ca. 2,6 Kilogramm und ist damit gut zu transportieren. Da die NIR-LEDs der Kamera nur eine ausreichende Beleuchtung für den Nahbereich bieten, kann zusätzlich mit einem 18 Watt NIR-Scheinwerfer die Untersuchungsfläche ausgeleuchtet werden. In diesem Fall versorgt ein AGM Akkumulator den Strahler und die Kamera mit Strom. Die Schaltung der beiden Geräte erfolgt durch den Raspberry Pi. Die Kosten der Bauteile werden in Tabelle 1 aufgeführt und liegen im Gesamten bei etwa 745€ exklusive Mehrwertsteuer.



*) Zusätzliche Module

Abbildung 8: Skizze des Hardwareaufbaus

4.3.2 Genutzte Software

Als Betriebssystem für den Raspberry Pi kommt Raspberry Pi OS (2021-01-11) zum Einsatz. Dieses auf Debian basierende System wurde extra für den Raspberry Pi konzipiert und eignet sich als Grundlage für das Vorhaben. Für die Bewegungserkennung und Ereignisaufzeichnung wird die Software Motion in der Version 4.3.2 verwendet (<https://motion-project.github.io>). Ursprünglich für die Steuerung von Überwachungskameras bei der Objektbewachung entwickelt, bietet diese Software mit ihren vielen Anpassungsmöglichkeiten eine gute Basis für die Bewegungserkennung. Für die Audioaufzeichnung wird die Software SoX – Sound eXchange (14.4.2) von Chris Bagwell genutzt. Diese ermöglicht eine automatische Aufzeichnung von Audiosignalen bei einer Überschreitung eines festlegbaren Schwellenwertes. Die Abläufe werden mit Bash-Skripten initialisiert und gesteuert. In Python wurde zusätzlich das Programm AQES-Konfigurator erstellt, welches dazu dient, mit einem Computer wichtige Aufnahmeparameter des AQES zu ändern oder Dateien herunterzuladen und zu löschen. Auch wurde das WLAN Modul des Raspberry Pi's als Wireless Access Point eingerichtet, damit zum Beispiel per Smartphone der Videostream abgerufen werden kann. Der AQES-Konfigurator soll wegen der höheren Datenrate über das Ethernet auf das AQES zugreifen. Ein Zugriff über Secure Shell ist über beide Schnittstellen möglich.

4.3.3 Softwareaufbau

Folgend wird der Grundriss des Softwareaufbaus aufgeführt. In der Abbildung 10 ist dieser zur Verdeutlichung grafisch dargestellt.

AQESstart.sh

Bei jedem Systemstart wird vom Service AQES.service das Shell-Skript AQESstart.sh ausgeführt. Hier erfolgt der Start der beiden Shell-Skripte für die Audioaufnahmen (recording.sh) und für die Bewegungserkennung (motion_rec.sh). Ergänzend könnten hier zusätzlich stromsparende Befehle erfolgen.

recording.sh

Das Bash-Skript zur Audioaufnahme liest die Variablen aus der Konfigurationsdatei recording.conf ein, setzt das Dodotronic Ultramic 384K BLE als standardmäßige Soundquelle und leitet in einer Schleife den Aufnahmebefehl für SoX

(14.4.2) ein. Diese Schleife läuft, bis sie entweder über die Software AQES-Konfigurator vom PC aus beendet wird oder das AQES abgeschaltet wird. Die Ausgaben der Sitzung werden in einer Log-Datei im Verzeichnis /home/pi/AQES/output/audio/recording.log gespeichert.

motion_rec.sh

Dieses Bash-Skript schaltet das Relais der Kamera ein und startet die Software Motion (4.3.2) mit der dazugehörigen Konfigurationsdatei motion.conf. Motion selbst läuft als Service und wird über die Software AQES-Konfigurator vom PC aus, oder wenn das AQES abgeschaltet wird, beendet. Auch hier werden die Ausgaben der Software Motion (4.3.2) in einer Log-Datei unter /home/pi/AQES/output/motion/d_motion.log gespeichert.

schedule.wpi

Es handelt sich um ein WittyPi 3 eigenes Schedule-Skript, welches die Startzeit und die Laufzeit enthält. Die Datei wird im Verzeichnis /home/pi/AQES/ durch den AQES-Konfigurator geändert und anschließend in das Verzeichnis /home/wittypi/ kopiert, wo sie von der Software des WittyPi's beim nächsten Neustart eingelesen wird. Aufgrund der Eigenheit, dass der WittyPi nur den nächsten Shutdown, nicht jedoch den nächsten Startup ausführt, wurde ein kleines Start-Stop Fenster eingefügt. Wenn über den AQES-Konfigurator eine Startzeit von 17:00 Uhr eingestellt wird, enthält das Schedule-Skript eine Startzeit von 17:00:00 Uhr, gefolgt von einer Stopzeit von 17:00:01, dann eine Startzeit von 17:00:02 mit einer Laufzeit über die Länge der vorher eingestellten Laufzeit. Da der WittyPi als ersten Termin keine Startzeit liest, liest er nur die Stopzeit um 17:00:01 Uhr. Da er aber bereits ausgeschaltet ist, fährt er so den Raspberry Pi als nächstes bei der Startzeit um 17:00:02 hoch und lässt ihn für die eingestellte Laufzeit angeschaltet.

2.1. Hochpassfilter

Der Hochpassfilter filtert die Geräusche unterhalb der angegebenen Frequenz heraus. Der Standardwert liegt bei 15 kHz und so werden Geräusche im menschlichen Hörbereich wie Vögel, raschelndes Laub, Straßenverkehr etc. weniger bis gar nicht aufgezeichnet.

2.2. Start-Schwellenlänge

Die Start-Schwellenlänge beschreibt die Länge, die ein Geräusch mindestens haben muss, um eine Aufnahme auszulösen. Aufgrund der möglichen kurzen Rufe einiger Arten wie zum Beispiel die Wimpernfledermaus – *Myotis emarginatus* (GEOFFROY 1806) deren Rufe bei 1,5 Millisekunden Länge beginnen (SKIBA 2009: 115), liegt der Standardwert bei einer Millisekunde.

2.3. Start-Schwellenwert

Der Start-Schwellenwert beschreibt den Schalldruckpegel, den ein Geräusch haben muss, um eine Aufzeichnung auszulösen. Der Wert wird in negativen Dezibel angegeben und ist standardmäßig bei -40 dB. Über diesen Wert können die Geräte aufeinander angepasst werden, so dass die Geräte unter gleichen Bedingungen nahezu identisch auslösen.

2.4. Länge der Stille nach Aufnahme

Dieser Parameter beschreibt die Länge der Stille, ab der eine Aufzeichnung beendet werden soll. Der Standardwert liegt bei einer Sekunde.

2.5. Stop-Schwellenwert

Dieser Parameter beschreibt den Schalldruckpegel, den ein Geräusch haben muss, um die Aufnahme nach dem Starten fortzuführen. Für weitere Informationen siehe Punkt 2.3 Start-Schwellenwert.

2.6. Maximallänge der Audioaufnahme

Dieser Wert gibt die maximale Länge einer Aufzeichnung an. Nach Ablauf der Zeit wird bei anhaltendem Geräusch über dem Schwellenwert in eine neue Audiodatei geschrieben.

3. Videoaufnahmeparameter ändern

3.1. Auslöseempfindlichkeit

Dieser Parameter gibt die Anzahl der Pixel an, die sich im Bild verändern müssen. Der Wert liegt aktuell standardmäßig bei 20 Pixeln.

3.2. Maximale Videolänge

Hier wird die maximale Videolänge angegeben. Der Standardwert liegt bei 60 Sekunden.

4. Start-/Stoppautomatik einstellen

Bei dieser Einstellung wird die Startzeit und die Laufzeit eingestellt.

5. AQES neustarten

Diese Option startet das Gerät neu. So können Änderungen der Parameter übernommen werden.

6. AQES herunterfahren

Diese Option schaltet das AQES aus, bis es manuell wieder angeschaltet wird oder durch die Start-/Stoppautomatik gestartet wird.

Darüber hinaus können über manuelle Änderungen der Konfigurationsdateien weitere Parameter geändert werden.

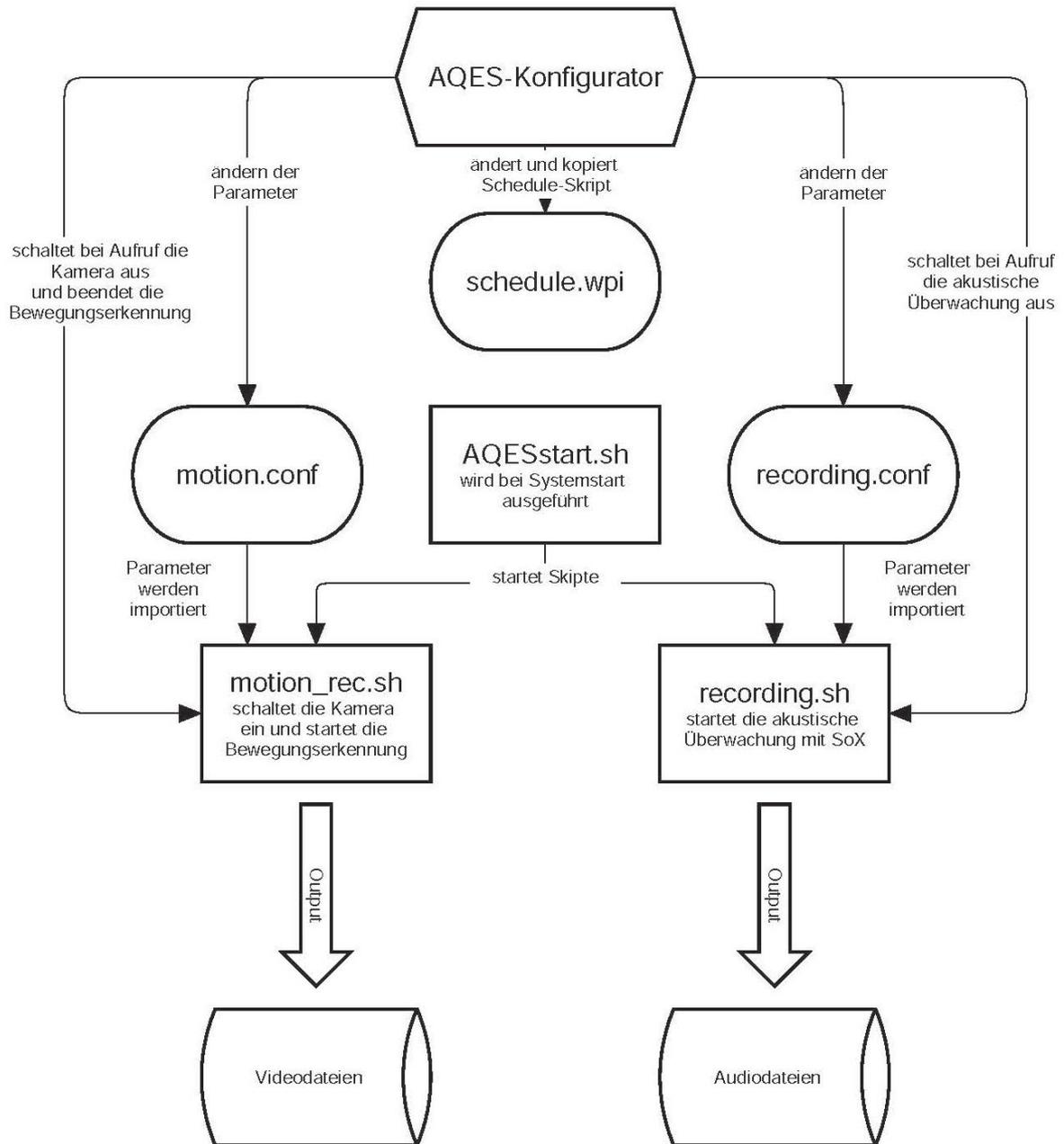


Abbildung 10: Skizze des Softwareaufbaus

4.3.4 Ergebnis



Abbildung 11: AQES Prototyp während eines Testaufbaus.

Es wurde ein Gerät entwickelt, das alle im Kapitel 4.1 genannten Kriterien erfüllt. Das AQES verfügt über ein hochqualitatives omnidirektionales Ultraschallmikrofon, welches Frequenzen bis 192 kHz mit 16 Bit aufnehmen kann. Damit können alle in Deutschland heimischen Fledermausarten akustisch erfasst werden. Weiter verfügt das Gerät über eine infrarotaugliche Kamera mit einer Aufnahmeauflösung von 2560 x 1920 Pixeln und einer Bildrate von bis zu 30 Bildern pro Sekunde. Die Bewegungserkennung erfolgt mit einer Auflösung von 640 x 480 Pixeln. Die Sichtwinkel der Kamera betragen 80 ° in der Horizontalen und 58 ° in der Vertikalen. Damit kann auf 10 Meter Entfernung ein Feld von etwa 16,5 Meter in der Breite und 11 Meter in der Höhe, also 181,5 m² aufgezeichnet werden. Diese Werte sind aber theoretische Werte, die sich aufgrund der Perspektive sowie durch Objektiv-Effekte stark ändern können. Zudem zeigt die Kamera einen

leichten Fischaugeneffekt. Die Größe eines Pixels in der Erfassungsauflösung beträgt auf 10 Meter im Schnitt etwa 2,57 cm in der Breite und 2,29 cm in der Höhe. Auf Grundlage der ersten Testversuche liegt die erreichbare Erfassungsdistanz bei Gebäuden ohne Zusatzscheinwerfer bei etwa 6 Metern. So kann eine Fläche von etwa 50 Quadratmetern überwacht werden. Unter Zuhilfenahme des 18 Watt Zusatzscheinwerfers ist eine Erfassungsdistanz von 11 Metern und damit die Überwachung einer Fläche von 200 Quadratmeter möglich (siehe Abbildung 12). Diese Werte können sich je nach Untersuchungsobjekt reduzieren. Da



Abbildung 12: Aufnahme einer Gebäudefassade durch das AQES in 11 Metern Abstand.

es sich um ein eigenständiges Kameramodul handelt, können Einstellungen an der Kamera nur direkt an diesem erfolgen. Am Raspberry Pi wurde somit eine Portweiterleitung zur Kamera am Ethernet Port eingerichtet. So kann das Webinterface der Kamera von jedem Gerät, welches sich im AQES Hotspot befindet, aufgerufen werden, um die Ein-

stellungen bei Bedarf anpassen zu können. Das Gerät ist gut zu transportieren und je nach Übung in etwa 5 – 10 Minuten aufgebaut. Nach dem Aufbau wird das Gerät angeschaltet und die Verbindung mit dem AQES per WLAN, zum Beispiel mit einem Smartphone, hergestellt. Durch die Eingabe der IP und des Portes in einen üblichen Browser kann der Livestream der Kamera aufgerufen werden, um das Gerät auszurichten. Nach erfolgter Ausrichtung kann das Gerät angeschaltet bleiben und die automatische Aufzeichnung läuft weiter bis die eingestellte Abschaltzeit erreicht wurde und das Gerät selbständig abschaltet. Wird das Gerät nach der Ausrichtung wieder ausgeschaltet, fährt es zur eingestellten Startzeit selbständig hoch und führt die automatische Aufzeichnung durch bis die Abschaltzeit erreicht wird. Die Stromaufnahme beträgt im Schnitt unter 12,5 Watt und mit den hier genutzten Akkus ist eine Laufzeit von mindestens 10 Stunden in der Nacht garantiert. Mit dem AQES-Konfigurator lassen sich die aufgenommenen Sequenzen einfach herunterladen und die wichtigsten Parameter einstellen.

Das Gerät kann jede Bewegung in der Größe einer Fledermaus bis zu einer Distanz von etwa 12 Metern aufzeichnen. Sich bewegende Objekte, wie beispielsweise Efeubewuchs oder Bauplanen, können jedoch vom Gerät nicht von einer Fledermaus unterschieden werden. Auch können, insbesondere in den Morgenstunden, gebäudebewohnende Vögel aufgezeichnet werden. Wird die Untersuchungsfläche nicht hell genug ausgeleuchtet, so können Aufnahmen auch durch Bildrauschen der Kamera ausgelöst werden. Diese Aufzeichnungen müssen im Nachhinein aussortiert werden. Die Untersuchungsfläche entscheidet daher über die Genauigkeit der Bewegungserkennung.

5 Diskussion

5.1 Funktion

Ob das AQES bei einer Untersuchung verwertbare Daten durch die Bewegungserkennung liefert, ist stark abhängig vom Aufstellort, der Untersuchungsfläche und den Einstellungen. Ist der Untersuchungsort beispielsweise sehr staubig und wird dieser häufig vom Wind aufgewirbelt, können die kleinen Staubkörner eine

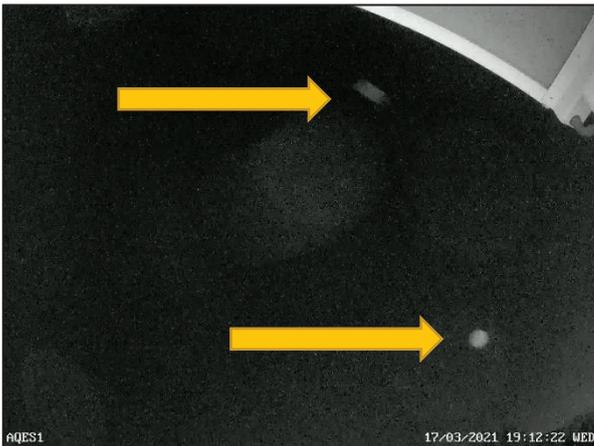


Abbildung 13: Reflektierender Griesel führt zu Falschaufnahmen.

Fehlauslösung verursachen. Dies geschah bei Versuchen im März. Hier wurden die Falschaufnahmen durch reflektierenden Griesel ausgelöst. Grund hierfür ist die Konstellation aus der Kamera und den integrierten LEDs. Fliegt ein Objekt wenige Zentimeter vor der Kamera entlang reflektiert dieses das Licht der LEDs und die Kamera erfasst einen

großen leuchtenden Fleck. Diesem Effekt kann durch die Verwendung des externen NIR-Scheinwerfers entgegengewirkt werden. Aufgrund seiner verschobenen Position gegenüber der Kamera gibt es keine Reflektionen im Nahbereich der Kameralinse. Auch sollte die Untersuchungsfläche wenig Bewuchs oder andere sich im Wind bewegende Gegenstände aufweisen oder es sollte alternativ auf windstille Erfassungszeiten geachtet werden. Nach aktuellen Versuchen können, an Gebäudefassaden ohne Bewuchs und sich bewegenden Gegenständen, Einstellungen mit sehr niedrigen Schwellenwerten angewendet werden. Dadurch sollten alle Fledermäuse erfasst werden können. Wichtig hierfür ist jedoch die komplette Ausleuchtung der Untersuchungsfläche. Je größer der Schwellenwert ist, umso geringer ist die Wahrscheinlichkeit der Aufnahme von Fledermäusen. Inwiefern das Gerät alle Fledermäuse erfassen kann und welche Umstände dazu nötig sind, muss anhand von praktischen Untersuchungen noch in Erfahrung gebracht werden. Diese konnten nicht im Zusammenhang dieser Arbeit erfolgen. Jedoch konnten bereits in Neubrandenburg am Abend des 23. März 2021 bei einem Testdurchlauf zufällig Fledermäuse aufgezeichnet werden. Die Abbildung 14 zeigt eine mithilfe der Ultraschallaufnahmen als Wasserfledermaus (*Myotis*

daubentonii) identifizierte Fledermaus bei der Jagd über einem Gewässer. Die Funktion der Ultraschallaufzeichnung konnte damit ebenfalls bestätigt werden. An dem Abend wurden mehrere Rufsequenzen verschiedener Fledermausarten aufgezeichnet.



Abbildung 14: Erste durch Bewegung ausgelöste Aufnahme einer Wasserfledermaus bei Neubrandenburg am 23.03.2021 (Aufnahme ohne Zusatzscheinwerfer).

5.2 Kostenfaktor im Verhältnis zur Qualität und Quantität

Ein begrenzender Faktor bei technischen Geräten kann in vielen Fällen deren teilweise hohen Kosten sein. Beim AQES in der aktuellen Bauweise kostet die Hardware des Gerätes unter 800 € Netto. Damit ist es erschwinglich, mehrere Geräte zeitgleich bei Untersuchungen einsetzen zu können. Bei nachgewiesener Funktion könnte sich auch der Personalaufwand bei Quartierkontrollen erheblich senken lassen. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen. Dabei sind die wichtigsten Kriterien in Tabelle 2 gegenübergestellt.

Ein quadratisches Gebäude hat eine Fassadenlänge von 10 Metern und an allen Fassaden mehrere Quartierpotenziale. Es wird am Gebäude mindestens eine Wochenstube vermutet, die durch Gebäudeuntersuchungen nicht verortet

werden kann. Die Wochenstubenphase wird für die Monate Juni bis Juli mit 60 Tagen angenommen. Bei einer sauberen Ausflugkontrolle braucht man zwei Erfasser damit alle vier Fassaden zeitgleich kontrolliert werden können. Diese beiden Erfasser müssen mindestens 30 Minuten vor Sonnenuntergang mit der Erfassung beginnen und diese bis mindestens 90 Minuten nach Sonnenuntergang durchführen, also zwei Stunden. Grund für dieses Zeitfenster sind die unterschiedlichen Zeiten des Ausflugbeginns der einzelnen Arten. So beginnt der Abendsegler (*Nyctalus noctula*) häufig zwischen 0-15 Minuten nach Sonnenuntergang mit dem Ausflug und die Fransenfledermaus (*Myotis nattereri*), sowie viele andere Myotisarten, beginnen erst ab 30-60 Minuten nach Sonnenuntergang mit dem Ausflug (vgl. Skiba 2009: 117 u. 129).

	händische Ausflugkontrolle/-zählung	AQES
minimale Personalanzahl	2	1
Minimaler Zeitaufwand insgesamt bei zwei Wiederholungen	8 Std.	6 Std.
Erfassungsquantität der Wochenstubenphase	1/30	1/6
Erfassungsqualität	abhängig von - Erfahrung - Aufmerksamkeit	> als bei der händischen Ausflugkontrolle

Tabelle 2: Gegenüberstellung der üblichen Ausflugzählung gegenüber dem AQES bezüglich der Kosten, Quantität und Qualität.

Die Erfasser sind also für mindestens zwei Wiederholungen je zwei Stunden vor Ort beschäftigt. Bei zwei Wiederholungen werden 1/30 der Wochenstubenphase überwacht. Wird hingegen das AQES eingesetzt, ist nur eine Person nötig, um die Geräte aufzubauen. Die Geräte laufen automatisch fünf Tage von 30 Minuten vor Sonnenuntergang bis 90 Minuten nach Sonnenuntergang in zwei Wiederholungen. Der Auf- und Abbau der vier Geräte beträgt je eine Stunde. Damit ist eine Person je Auslegung zwei Stunden im Feld beschäftigt. Das Auslesen und Auswerten der AQES Daten wird mit einer Stunde Zeitaufwand angenommen. Die AQESs decken mit 5 Abenden und zwei Wiederholungen 1/6 der Wochenstubenphase ab. In diesem Idealfall würde der Einsatz des AQES quantitativere Daten mit geringerem bis gleichen Aufwand erzeugen. Die Wahrscheinlichkeit

Wochenstubenkolonien zu verpassen, sinkt damit um das Fünffache. Ein weiterer Vorteil ist, dass mit dem AQES das Problem der begrenzten Aufmerksamkeitsspanne bei der händischen Kontrolle wegfällt. Es ist eher unwahrscheinlich, dass ein einzelner Erfasser zwei Fassaden gleichzeitig mit voller Aufmerksamkeit für zwei Stunden kontrollieren kann.

5.3 Weitere Anwendungsgebiete

Obwohl das AQES eigentlich für die Fledermausquartiererkennung an Gebäuden entwickelt wurde, ist eine Anwendung bei anderen Fragestellungen durchaus denkbar. So könnten zukünftig, nach dem Wechsel zu einer Kameraeinheit mit fest einstellbarer Empfindlichkeit des Sensors, auch Baumquartiere geprüft werden. Auch könnten Fledermäuse in Jagdhabitaten aufgezeichnet werden. Der erfasste Luftraum ist berechenbar und eine Extrapolation auf homogene Flächen wäre eventuell möglich. Eine weitere Anwendungsmöglichkeit bietet das Überprüfen von Flugrouten. Eine gängige Methode zur Überprüfung von potenziellen Flugrouten ist es, mindestens ein paar akustische Erfassungsgeräte entlang der Flugroute zu positionieren (MKULNV NRW 2017: Anhang 3, S. 4-6). Die Geräte sind zeitsynchron und der Abstand wird eingemessen. Fliegt eine Fledermaus entlang der Flugroute, wird sie zeitversetzt von beiden Geräten erfasst. Die Differenz aus den beiden Zeiten ist abhängig von der Fluggeschwindigkeit und dem Abstand der Geräte. Bei der späteren Sequenzauswertung lassen sich so Transektflüge erfassen. Ebenfalls erfassbar sind die Flugrichtungen. Jedoch jagen viele Fledermausarten entlang von potenziellen Flugroutenstrukturen wie zum Beispiel Hecken. Die Problematik dieser aktuell genutzten Methode ist, dass nicht unterschieden werden kann, ob es sich um zwei dort jagende Fledermäuse oder um eine auf der Flugroute fliegende Fledermaus handelt. Ist dagegen mindestens eines dieser Geräte ein AQES, so werden vorbeifliegende Fledermäuse aufgezeichnet. Anhand der Aufzeichnungen wäre dann eine Unterscheidung möglich, ob die Fledermaus einen Transektflug durchführt oder jagt. Eine weitere mögliche Verwendung wäre bei Gebäudeabrissen oder Baumfällungen mit bekannten Quartieren denkbar. Dürfen Quartiere zerstört werden, so ist eine der Aufgaben der ökologischen Baubegleitung Maßnahmen vorzuschlagen und deren Umsetzung zu kontrollieren, die ein Verletzen oder Töten von Fledermäusen verhindert. Im Falle einer Baumhöhle ist die einfachste Möglichkeit das

Verschließen der Höhle, nachdem sichergestellt wurde, dass sich keine Fledermaus mehr im Inneren befindet. Das Gleiche gilt bei Gebäudequartieren. Jedoch sind viele Quartiere zu verzweigt, als dass mit einer Endoskopkamera oder anderen gängigen Mitteln ein Besatz ausgeschlossen werden kann. Stellt man nun das AQES mit Blick auf den Einschluß für eine oder mehrere Nächte auf, kann mit den gesammelten Daten eine Aussage über den aktuellen Besatz getroffen werden. Wurden keine Fledermäuse beim Einschluß aufgezeichnet, so kann das Einschlußloch verschlossen werden und so eine Besiedelung und damit eine Verletzung oder Tötung von Fledermäusen verhindert werden.

5.4 Technische Grenzen und Zukunftsaussichten

Insbesondere bei der Bewegungserkennung gibt es verschiedene Grenzen. Die bei diesem Projekt genutzte Bewegungserkennung beruht auf dem Vergleich der einzelnen Pixelwerte zweier Bilder. Dieser Prozess benötigt je nach Auflösung eine entsprechend große Rechenleistung. Im aktuellen Aufbau führte die nächstgrößte Auflösung von 2304 x 1296 Pixeln zu einer deutlichen Überlastung des verwendeten Raspberry Pi. Der Bedarf nach höheren Auflösungen liegt in der möglichen Steigerung der Erfassungsreichweite. Auch ermöglichen höhere Auflösungen und eine Erhöhung der Bildrate die Anwendung von Objekterkennungen. Ein entsprechender Algorithmus könnte zum Beispiel Fledermäuse von anderen Tieren wie Vögeln unterscheiden. Auch die Unterscheidung von Fledermausarten anhand von Bildern wäre denkbar. Natürlich gibt es Computermodule, die deutlich mehr Leistung zur Verfügung stellen als der hier genutzte Raspberry Pi. Doch hier spielt dann die Stromversorgung im Feld eine begrenzende Rolle. Akkumulatoren, wie die hier verwendeten LiPo's mit etwa 227 Wattstunden pro Kilogramm, besitzen zwar bereits eine hohe Leistungsdichte, jedoch kann der Strombedarf eines leistungsstarken Computermoduls auf mehrere Hundert Watt und darüber hinaussteigen. Sollen die Geräte weiterhin transportabel sein ist zudem eine Gewichtsgrenze schnell erreicht. Ein alternativer Ansatz, um der Energieproblematik im Feld entgegenzuwirken, wäre eine reine Aufzeichnung während der Erfassung und eine spätere softwaregestützte Analyse der Aufnahmen im Büro. So können leistungsstärkere Computer und zugleich effektivere Algorithmen für die Erkennung von Fledermäusen in den Videoaufzeichnungen genutzt werden. Die Aufnahmegeräte würden über die volle Laufzeit Videos

aufzeichnen. Dabei entstehen jedoch große Datenmengen, die im Büro übertragen werden müssen. Auch läuft die Auswertung erst am Folgetag an, wodurch sich das Ergebnis nach hinten verschiebt. Im Falle einer Quartierskontrolle auf aktuellen Besatz, mit anschließender geplanter Verschließung/ Zerstörung desselben bei negativer Prüfung, könnte dieser Umstand aufgrund der Verzögerung zu Problemen führen. Jedoch ist bei einer Prüfung eines Quartiers, wie zum Beispiel einer Baumhöhle, im Zusammenhang mit Straßenbaumpflegearbeiten in der Regel keine hohe Auflösung nötig, da die Einflugöffnung bekannt ist, die zu erfassende Fläche dementsprechend gering ist und damit das Gerät nahe an das zu untersuchende Objekt gestellt werden kann. So könnte man bei kleineren Untersuchungsflächen wie einer Baumhöhle oder der Fassade eines kleineren Gebäudes das AQES mit aktivierter Bewegungserkennung einsetzen. Bei größeren Untersuchungsflächen und bei Projekten, in denen kein zeitlicher Druck vorhanden ist, kann das Gerät Daueraufzeichnungen durchführen. Diese könnten im Nachhinein am Computer im Büro ausgewertet werden.

Eine wichtige Grenze ergibt sich aus der gewählten Lichtquelle. Licht unterliegt, wie im Kapitel 4.2.1 beschrieben, dem Abstandgesetz. Dadurch kann mittels einer Lichtquelle je nach Kamerasensor nur ein bestimmter Distanzbereich erfasst werden. Folgend ein Beispiel. Die Lichtintensität für ausreichend kontrastreiche Bilder liegt zwischen 75 % und 25 %. Bei 1 l (l = Länge) liegt die Lichtintensität bei 100 %. Also liegt der Bereich mit der ausreichend kontrastreichen Lichtintensität zwischen etwa 1,15 l (75 %) und 2 l (25 %). Hebt man nun die Lichtintensität durch Verwendung einer stärkeren Lichtquelle bei 1 l auf 400 % an, so ändert sich der Bereich mit ausreichender Lichtintensität von 4,61 l auf bis 8 l . In der ersten Konstellation hat der Bereich eine Länge von 0,85 l und im zweiten Beispiel von 3,39 l . Bei Vervielfachung der Intensität vervierfacht sich also die Länge des Bereichs mit ausreichend Kontrast, jedoch nimmt auch die Distanz zwischen Lichtquelle und dem Bereich für qualitätsstarke Bilder um das Vierfache zu. Damit ist nicht jede Lichtquelle für jede Situation anwendbar. Soll das gleiche Gerät für verschiedene Distanzen genutzt werden, ist es sinnvoll, eine dimmbare Lichtquelle zu verwenden oder einen Kamerasensor mit einer entsprechenden Empfindlichkeitsbandbreite zu wählen.

Eine weitere Möglichkeit der Effektivitätssteigerung ist der Einsatz von kalibrierten Wärmebildoptiken statt einer Infrarotkamera. Der Vorteil liegt darin, dass nur Bewegungen, die eine bestimmte Temperatur aufweisen, aufgezeichnet werden könnten. Ein großer Nachteil ist jedoch die Blindheit der Geräte in den Abendstunden bei Hintergrundobjekten, die durch Sonneneinstrahlung über den Tag eine ähnliche oder gar die gleiche Temperatur aufweisen wie Fledermäuse. Eine Fledermaus würde von den Geräten nicht anders dargestellt werden als der Hintergrund und verschwindet damit. Zudem sind Wärmebildgeräte aktuell noch sehr kostenintensiv und bewegen sich im vier- bis fünfstelligen Bereich.

Zielführender als der Einsatz eines Wärmebildgerätes ist in naher Zukunft die Verwendung einer extra für den NIR-Bereich entwickelt und gebauten Kamera, welche mehr Einstellungen erlaubt und einen deutlich empfindlicheren Bildsensor hat. Dadurch kann ein Bildrauschen in dunklen Bereichen effektiv verhindert werden und die Empfindlichkeit gegenüber NIR-Licht ist deutlich größer. So haben die aufgezeichneten Videos einen höheren Kontrast und Fledermäuse sind leichter und genauer zu erkennen. Zudem wird eine weniger starke Lichtquelle benötigt, was wiederum zu einem geringeren Verbrauch führt und damit die Akkumulatoren wieder kleiner und leichter werden könnten. Solche Kameramodule liegen nach eigenen Recherchen preislich im drei bis vierstelligen Bereich. Erste Tests mit einem solchen Sensor lieferten gute Ergebnisse. Das Bild ist im Vergleich zur hier genutzten IP-Kamera von Reolink qualitativ deutlich besser. Eine Nutzung eines solchen Bildsensors im AQES ist zukünftig geplant.

Ein weiterer Schritt, welcher bereits in Vorbereitung ist, um die Leistungsfähigkeit des AQES verbessern zu können, ist die Entwicklung einer eigens dafür vorgesehenen Bewegungserkennung. Diese würde es ermöglichen, angepasst auf die Hardware und Aufgabe, das Maximale an Leistung zu erzielen. Funktionen wie eine Objekterkennung, die Fledermäuse von anderen Objekten unterscheidet wären möglich. Je nach Steigerung der Aufnahmequalität wäre auch eine Artengruppen Identifikation denkbar. Eine Synchronisierung der Audio- mit den Videoaufzeichnungen inklusive einer daraus folgenden möglichen automatischen Artidentifikation wären ebenso machbar.

Die Erfassung von Ultraschall könnte verbessert werden, indem die einzelnen Mikrofone kalibriert werden und abhängig davon die Einstellung des Schwellenwertes am AQES erfolgt. So würden verschiedene AQESs unter den gleichen Aufnahmebedingungen auch die gleichen Ereignisse aufzeichnen. Nur so ist etwa ein qualitativer Vergleich der Aktivität zwischen zwei verschiedenen Standorten über die Akustik möglich.

Die Änderung der Benutzerfreundlichkeit ist bereits in Teilen geplant. Diese soll dahingehend verbessert werden, dass kein externes Programm mehr nötig ist, um das AQES einzustellen. Die Einstellungen sollen am Einsatzort über ein Webinterface änderbar werden. Auch sollen weitere Einstellmöglichkeiten hinzukommen. Dazu zählen unter anderem die Auswahlmöglichkeit bestimmter Zonen, in denen Bewegungen erfasst werden sollen, sowie die Speicherung von Einstellparametern, damit sie bei der nächsten Untersuchung am selben Ort wieder aufgerufen werden können. Auch soll eine Anbindung per IoT (Internet of Things) erfolgen, damit beispielsweise im Stundentakt Daten wie die Anzahl der erfolgten Aufnahmen, Akkuspannungen, sowie eine Aufnahme der Szene und andere Werte übermittelt werden können. So kann aus der Ferne die ordnungsgemäße Funktion des Gerätes überprüft werden. Ebenfalls ist ein Fernzugriff für die Einstellung bestimmter Parameter geplant.

6 Fazit

Es wurde ein Gerät entwickelt, das beim Fledermausschutz insbesondere bei Bauvorhaben einen erheblichen Mehrwert gegenüber aktuellen Methoden bringen kann. Mit dem AQES ist bei der Quartierssuche und Kontrolle eine Steigerung der Quantität und der Qualität möglich. Auch eröffnen sich mit einem solchen Gerät neue Wege in der Fledermausforschung, wie beispielsweise die genannte Luftraumüberwachung. Das Gerät beinhaltet zusätzlich ein vollwertiges automatisches Ultraschallaufnahmegerät, das die Artidentifikation von Fledermäusen ermöglicht. Einen weiteren Vorteil bieten die überschaubaren Kosten. Im Vergleich zu den aktuell erhältlichen Ultraschallaufnahmegeräten, deren Preise meist im vierstelligen Bereich liegen, liegt das AQES deutlich darunter. Bei der Entwicklung des AQES konnte sich außerdem ein weitreichender Überblick über die technischen Möglichkeiten und die aktuellen Problemstellungen verschafft werden, die eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung dieses Gerätes bilden. So sind in naher Zukunft ein Austausch des Kameramoduls und die Kalibrierung des Mikrofons geplant. Auch soll ein dimmbarer NIR-Scheinwerfer gegen den aktuellen Scheinwerfer getauscht, sowie die Benutzerfreundlichkeit verbessert werden. Eine Versuchsreihe zur statistischen Prüfung des AQES ist für den Sommer 2021 geplant.

7 Literaturverzeichnis

- Dietz, Christian und Andreas Kiefer (2014): *Die Fledermäuse Europas. Kennen, bestimmen, schützen*, 1. Aufl., Stuttgart: Kosmos.
- Dietz, Christian, Dietmar Nill, Otto von Helversen (2016): *Handbuch der Fledermäuse. Europa und Nordwestafrika*, 2. Aufl., Stuttgart: Kosmos.
- Feller, K.D., et al., Characterization of photoreceptor cell types in the little brown bat *Myotis lucifugus* (Vespertilionidae), *Comp. Biochem. Physiol., B* (2009), doi:10.1016/j.cbpb.2009.08.006.
- Fritsch, Andreas und Hans-Christian Benicke (2020): Kleine Übersicht häufiger Fledermausquartiere an Gebäuden, [online]
<https://faunaundfeder.com/dokumente/> [27.03.2021].
- Grzimek, Bernhard (1968): *Grzimeks Tierleben. Säugetiere 2*, Zürich: Kindler Verlag AG.
- Hammer, Matthias und Ulrich Marckmann (2009): Kriterien für die Wertung von Artnachweisen basierend auf Lautaufnahmen [online]
<https://www.fledermaus-bayern.de/downloads.html?file=files/upload/Downloads/bestimmungshilfen/wertung-artnachweise-lautanalyse.pdf> [27.03.2021].
- Hötzl, Sarah (2009): Leitfaden – Fledermäuse an Gebäuden. Leitfaden zur Diplomarbeit, Fachhochschule Eberswalde, Eberswalde [online]
https://www.nabubarnim.de/app/download/5547026363/Leitfaden_Fledermaeuse-an-Gebaeuden_Hoetzl.pdf?t=1326106967 [27.03.2021].
- LANA (2010): Hinweise zu zentralen unbestimmten Rechtsbegriffen des Bundesnaturschutzgesetzes., [online]
https://www.bfn.de/fileadmin/BfN/recht/Dokumente/Hinweise_LANA_unbestimmte_Rechtsbegriffe.pdf [20.04.2021].
- Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (o.J.): Arten der Anhänge II, IV und V der FFH-Richtlinie, [online] http://www.lung.mv-regierung.de/insite/cms/umwelt/natur/artenschutz/as_ffh_arten.htm [2021.03.27].
- MKULNV NRW (2017) (Hrsg.): „Methodenhandbuch zur Artenschutzprüfung in NordrheinWestfalen – Bestandserfassung und Monitoring. Bearb. FÖA

- Landschaftsplanung GmbH Trier (M. Klußmann, J. Lüttmann, J. Betten-
dorf, R. Heuser) & STERNA Kranenburg (S. Sudmann) u. BÖF Kassel
(W. Herzog). Schlussbericht zum Forschungsprojekt des MKULNV
Nordrhein-Westfalen Az.: III-4 - 615.17.03.13. online.
- Meinig, H., P. Boye, M. Dähne, R. Hutterer und J. Lang (2021): *Rote Liste und
Gesamtartenliste der Säugetiere (Mammalia) Deutschlands–Natur-
schutz und Biologische Vielfalt 170 (2)*, Bonn: Bundesamt für Natur-
schutz.
- Ministerium für Landwirtschaft und Umwelt (2018): Hinweise zur
Eingriffsregelung Mecklenburg-Vorpommern [online]
http://www.lung.mv-regierung.de/dateien/hze_2018.pdf [27.03.2021].
- Pettersons, Gunars (2004): Seasonal migrations of north-eastern populations of
Nathusius' bat *Pipistrellus nathusii* (Chiroptera), in *Myotis*, Jg. 41-42, S.
29-56.
- Reiter, Guido und Andreas Zahn (2005): Leitfaden zur Sanierung von
Fledermausquartieren im Alpenraum, [online] [https://www.fledermaus-
bayern.de/files/upload/Downloads/schutz_und_pflege_von_fledermaeu-
sen/leitfaden_zur_sanierung_von_fledermausquartieren.pdf](https://www.fledermaus-bayern.de/files/upload/Downloads/schutz_und_pflege_von_fledermaeu-sen/leitfaden_zur_sanierung_von_fledermausquartieren.pdf)
[27.03.2021].
- Skiba, Reinald (2009): *Europäische Fledermäuse. Kennzeichen, Echoortung
und Detektoranwendungen*, 2. Aufl., Magdeburg: VerlagsKG Wolf.
- Wang, Dary, Todd Oakley, Jeffrey Mower, Lawrence C. Shimmin, Sokchea Yim,
Rodney L. Honeycutt, Hsienshao Tsao und Wen-Hsiung Li (2004):
Molecular Evolution of Bat Color Vision Genes [online]
<https://academic.oup.com/mbe/article/21/2/295/1187905> [27.03.2021].
- Windeln, Hermann-J. (2010): Quartierwechsel bei Fledermäusen in der
Schwangerschaft und Wochenstubenzeit sowie Mitteilungen zur ge-
meinsamen Quartiernutzung von Abendseglern (*Nyctalus noctula*) und
Wasserfledermäusen (*Myotis daubentonii*), in *Nyctalus*, Band 15, Heft
4, S. 271-275.
- Zhao, Huabin, Stephen J. Rossiter, Emma C. Teeling, Chanjuan Li, James A.
Cotton und Shuyi Zhang (2009): The evolution of color vision in
nocturnal mammals [online]. PNAS June 2, 2009 106 (22) 8980-8985;
<https://doi.org/10.1073/pnas.0813201106> [27.03.2021].