

# Detektion aktiver Schadinsekten mit visuellen und akustischen Verfahren

## 1. Detection of active wood-destroying insects using visual and acoustical methods

Burkhard Plinke (WKI Braunschweig), Jos Creemers (SHR Wageningen), Uwe Noldt (Lauenburg/Elbe)

### Kurzfassung

Im Rahmen des Projektes InsectDetect wurde ein Verfahren entwickelt und erprobt, mit dem Holzproben auf aktiven Befall durch die Larven holzerstörender Insekten überprüft werden können. Es beruht auf der Messung und Auswertung von Schallemissionssignalen, die stationär und mobil und weitgehend unabhängig von Störgeräuschen erfolgt. Bereits nach einigen Minuten liegt ein Ergebnis vor, aber auch Langzeitmessungen über mehrere Tage sind möglich. Das Verfahren wurde unter verschiedenen Bedingungen erprobt, z.B. an befallenen Holzbalken, an mit Holzschutzmitteln oder Kontaktwärme beaufschlagten Proben sowie an Freilandproben unter Quarantänebedingungen und bei einem Holzhändler.

### Abstract

Scope of the project InsectDetect was the development and test of a monitoring procedure to screen and test wood samples for active infestation by wood-destroying insect larvae. Structure-borne sound emission signals can be measured with a stationary and a mobile device mostly unaffected by airborne noise. Results can be obtained within a few minutes, but long-term measurements for several days are possible as well. The method was tested under several conditions, e.g. on infested wooden beams, on samples exposed to wood preservatives or contact heat, on outdoor samples and in a wood trading company.

## 2. Einleitung und Motivation

Bedingt durch den Klimawandel treten vermehrt Pilz- und Insektenarten auf, die in Mitteleuropa bis jetzt keine natürlichen Feinde haben. Holzerstörende Insekten, wie beispielsweise der Asiatische Laubholzbockkäfer (*Anoplophora glabripennis*, ALB), können durch den internationalen Handel über befallenes Schnitt- oder Verpackungsholz ungewollt importiert werden und sich im Freiland ausbreiten. Ihre Bekämpfung ist aufwändig, und etablierte Kontrollverfahren reichen nicht aus. Verbesserte präventive Maßnahmen zur Detektion aktiver Larven würden daher Holzhandel, Forstwirtschaft, Überwachungsbehörden, Gutachter und Schädlingsbekämpfer unterstützen.

Im Rahmen des Vorhabens InsectDetect wurde daher ein Verfahren entwickelt und erprobt, mit dem verdächtige Holzproben, z.B. Lieferungen von Importware bzw. holzbasierten Verpackungen, Freilandproben, Balkenabschnitte nach einer Bekämpfungsmaßnahme, mit Holzschutzmittel behandelte Proben etc. auf aktiven Befall von Schadinsekten überprüft werden können. Der Messung vorangestellt ist zunächst eine Begutachtung und ggf. Auswahl von Proben bzw. Messstellen mit Verdacht auf Befall. Dazu dient eine Handlungshilfe, die sich auf das übliche gutachterliche Fachwissen für die Schadensanalyse in Holzbauten stützt [Noldt

2014] und einen Katalog holzerstörender Insekten und einfach feststellbarer visueller Befallsmerkmale (Käfer, Larven, Ausschlußflöcher, Fraßgänge, Bohrmehl etc.) umfasst.

Der Schwerpunkt dieses Beitrages ist der zweite Teil des Vorhabens: Akustische Messverfahren zur Erkennung aktiven Befalls anhand der Schallemissionen von Insektenlarven bei der Nahrungsaufnahme wurden weiterentwickelt und für den mobilen Einsatz erprobt. Details und Ergänzungen zu den hier wiedergegebenen Methoden und Ergebnissen enthält der ausführliche Schlussbericht [Plinke 2021].

### 3. Akustische Detektion der Larven holzerstörender Insekten

#### 3.1. Messprinzip

Schallemissionen fressender Insektenlarven, z.B. des Hausbockkäfers (*Hylotrupes bajulus* L.), können am Holz unter günstigen Umständen auch mit dem Ohr in einer Entfernung von einigen Dezimetern als Luftschall wahrgenommen werden. Um diese auszuwerten, wären allerdings eine ruhige kontrollierte Umgebung, mehrere Sensoren und eine Messdauer von einigen Stunden erforderlich. Daher ist die Messung von Körperschall mit an einer Probe fixierten Sensoren und eine automatische Aufzeichnung über einige Minuten oder Stunden wesentlich aussichtsreicher und auch für kleinere Larven wie z.B. die des Splintholzkäfers geeignet. Dazu eignet sich die Schallemissionsanalyse - gebräuchliche Abkürzung ist AE für *acoustic emission*. Es handelt sich um eine vielfach anwendbare akustische Mess- und Prüftechnik. Körperschallemissionen von verschiedenartigen Bauteilen (z.B. Rohrleitungen, Behälter, tragende Konstruktionen) werden mit Beschleunigungsaufnehmern gemessen und im Zusammenhang z.B. mit mechanischen oder thermischen Belastungen analysiert. Die verfügbare Messtechnik lässt sich gut für AE-Messungen an Insekten in Holz adaptieren.

Der Zusammenhang zwischen dem Fraßverhalten von Hausbockkäferlarven und messbaren Körperschallemissionen an Holzproben ist schon länger nachgewiesen [Pallaske 1984]. Typisch für diese Spezies sind eine gewisse Periodizität bei der Schallemissionsrate sowie Pausen, wenn das Material bewegt wird, und ein Zusammenhang zwischen Materialtemperatur und –feuchte. Auch im Fraunhofer Institut für Holzforschung (WKI) wurde das Messprinzip bereits vor einigen Jahren erprobt [Plinke 1991]. Das SHR in Wageningen setzt schon länger den „Woodworm Detector“ (WWD) mobil in der gutachterlichen Praxis ein [Creemers 2012]. Messungen über einige Stunden mit Larven verschiedener Spezies [Creemers 2015] zeigen, dass bei Trockenholzinsekten mit Ruheperioden der Larven in der Größenordnung von einigen Minuten bis Stunden zu rechnen ist. Es besteht auch ein deutlicher Zusammenhang zwischen der Holztemperatur und der messbaren Aktivität – je nach Spezies beginnt diese erst oberhalb von etwa 5 °C oder 10 °C [Nowakowska, Krajewski et al. 2017]. Dieses Vorwissen kann für das akustische Prüfverfahren genutzt werden.

Für die Analyse und Bewertung einer unbeaufsichtigten Messung ist es wichtig, möglichst nur für Larvenaktivitäten signifikante Signale aufzunehmen. Danach müssen diese registrierten Einzelimpulse (Hits) gefiltert und auf der Zeitskala dargestellt werden, um übergeordnete Muster, zeitliche Häufung, Korrelationen zu Randbedingungen etc. zu erkennen und anhand der Impulsrate zu entscheiden, ob Aktivität vorliegt.

### 3.2. Geräteausstattung

Im Projekt wurde eine stationäre vierkanalige Messanlage für AE-Signale des Typs AMSY-6 (Hersteller: Vallen Instruments, Wolfratshausen) eingesetzt. Sie besteht aus vier Sensoren (Typ VS45H, volle Empfindlichkeit ab einer Frequenz von ca. 95 kHz), jeweils mit Vorverstärker Typ AEP5), einem Tischgehäuse mit 2 Einschüben für Signalaufbereitung und Transientenrecordern für je 2 Sensoren, und einem Laptop unter Windows mit USB3-Schnittstelle und einem Softwarepaket u.a. mit dem Modul VisualAE zur Datenaufnahme und interaktiven grafischen Auswertung. Zwischen den Vorverstärkern in der Nähe der Sensoren einerseits und der übrigen Hardware (Tischgehäuse und Laptop) andererseits kann eine lange Kabelverbindung von mindestens 5 m liegen. Damit sind Messungen auch an größeren Bauteilen bzw. in größeren Räumlichkeiten möglich. Die eigentlichen Sensoren sind robuste Stahlzylinder mit einer Keramikplatte an der empfindlichen Stirnfläche. Es hat sich erwiesen, dass sie in den meisten Fällen mit handelsüblichen verstellbaren Einhandzwingen passender Größe (Abb. 1) an eine ebene Fläche auf der Probe angeklemt werden können. Bei unebenen Proben (z.B. Stammabschnitte mit Rinde) ist ein selbst entwickelter Magnethalter (Abb. 1, roter Pfeil) eine mögliche Alternative: Mit einer Stahlplatte ist eine Holzschraube verschweißt, die nach Vorbohrung ins Material einschraubt werden kann. Der Sensor wird mit der Stirnfläche magnetisch an die Platte angekoppelt. Aufgrund dieser Erfahrungen kann auch auf ein Koppelmedium (z.B. Vaseline) verzichtet werden, da es die Proben beeinträchtigen würde.

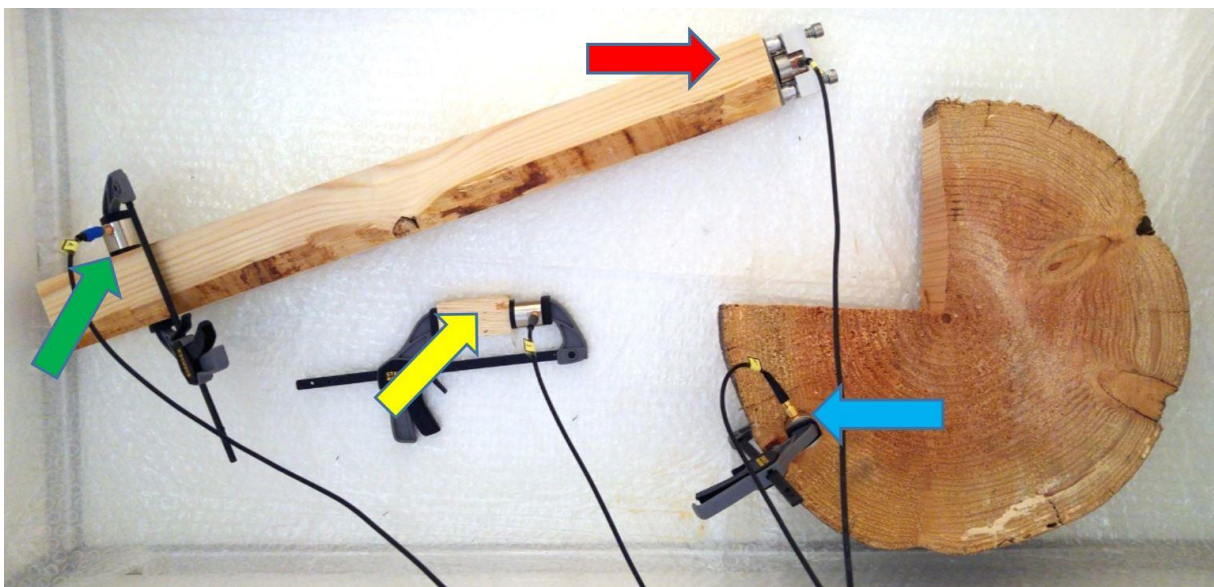


Abb. 1: Probenzusammenstellung zur Verifikation des Messaufbaus

Kanal 1 (grün): Sensor seitlich am Kantholz in der Nähe der Larve (Hausbock) angeklemt; Kanal 2 (rot): Sensor axial am Kantholz ca. 40 cm entfernt von der Larve mit Magnethalter gekoppelt; Kanal 3 (gelb): Sensor axial geklemmt an der Kleinprobe mit Larve (Splintholzkäfer); Kanal 4 (blau): Sensor axial geklemmt an einer Baumscheibe mit Larve (Hausbock) (Foto: Burkhard Plinke)

Das Ergebnis einer AE-Messung über einen längeren Zeitraum (Minuten bis Tage) sind zunächst nur die hier dargestellten Merkmale der registrierten Hits (Ereignisse) in Form eines Datensatzes je Hit, der zusammen mit einem Zeitstempel in einer SQL-Datenbank gespeichert ist. Diese kann auch bereits bei laufender Messung ausgelesen werden. Die Software der AE-Messanlage umfasst das konfigurierbare Auswerteprogramm VisualAE, mit dem die Daten schon während der Messung grafisch aufbereitet und gefiltert werden können. Bei einer gegebenen Parametrierung der Messkette (u.a. durch den gewählten Frequenzbereich, die Triggerschwelle, die Anzahl der Counts pro Hit) kann dann die Anzahl der Impulse pro Zeit als

Kriterium für Larvenaktivität dienen. Weitere Einzelheiten des hier eingesetzten Verfahrens, exemplarische Messdaten und Bewertungskriterien sind im Schlussbericht dargestellt.



Abb. 2: Ergebnis einer 4 stündigen Messung für die 4 Proben in Abb. 1; farbliche Zuordnung wie Abb. 1

oben links: Impulsrate (Hits, d.h. gezählte Ereignisse pro 10 s, linear) / Messdauer; oben Mitte: Anzahl der Hits (log.) / Peak-Amplitude; oben rechts: Peak-Amplitude (in dB) / Messdauer; Mitte links: Listing der Merkmale aller Hits mit mind. 5 Überschreitungen der Triggerschwelle (Counts); Mitte rechts: Signalverlauf des letzten Hits; unten links: Kanalnummer, Peak-Amplitude, Anzahl der Counts des letzten Hits; unten rechts: Gesamtzahlen (logarithmisch) der registrierten Hits zum Vergleich aller Kanäle (Grafik: Burkhard Plinke)

Seit 2021 bietet der Hersteller Vallen auch ein mobiles AE-Messgerät namens „spotWave“ an. Er besteht aus dem gleichen Sensor wie die stationäre, einem kleinen Gehäuse mit der Hardware für die Signalaufbereitung und handelsüblicher Hardware für die Datenakquisition (Mobiltelefon mit Android-Betriebssystem, siehe Abb. 3). Das Gerät liefert Daten im gleichen Format (SQL-Datenbank), die daher auch mit der gleichen Software VisualAE ausgewertet werden können. Sehr empfehlenswert ist ein zusätzlicher Akku für Messungen über bis zu 24 Stunden (handelsübliche Powerbank für Mobilgeräte, jedoch mit einer Kapazität von ca. 20 Ah und Schnelllademöglichkeit). Im Folgenden wird über die Erprobung beider AE-Messgeräte berichtet.

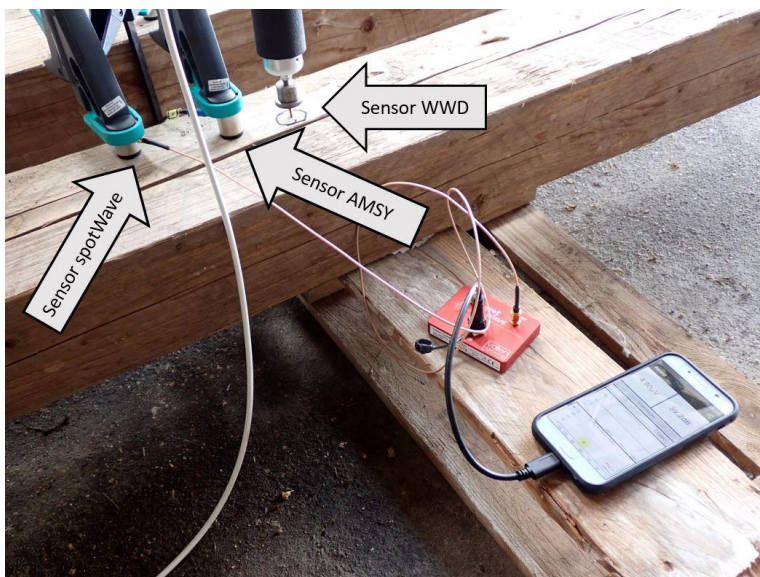


Abb. 3: Mobiles Messgerät „spotWave“; Prototyp im Test; oben im Bild links der zugehörige Sensor, in der Mitte ein gleicher Sensor, rechts der Sensor des „Woodworm Detectors“ (Foto: Jos Creemers)



## 4. Praktische Beispiele

Die im vorigen Abschnitt beschriebene Sensorik wurde bei verschiedenen Projektpartnern (siehe Danksagung) in Praxistests erprobt.

### 4.1. Vergleichsmessungen und Verifikation an Kanthölzern

In einem landwirtschaftlichen Betrieb in Schnakenbek (bei Lauenburg/Elbe) wurden augenscheinlich mit Hausbocklarven befallene Kanthölzer (Kiefer, Querschnitt 16 x 12 cm<sup>2</sup>, Länge 400 cm) untersucht, die vorher als Witterungsschutz in einem Schuppen eingesetzt waren. Sie wurden abschnittsweise gleichzeitig mit der vierkanaligen AMSY-Messanlage und dem einkanaligen Woodworm Detector (WWD) des Projektpartners SHR vermessen, wobei je Abschnitt eine Messdauer von ca. 30 min gewählt wurde. Abb. 4 zeigt oben den Aufbau und zwei der insgesamt 14 Proben.

Die AMSY-Sensoren wurden mit Zwingen jeweils  $\frac{1}{4}$  Balkenlänge von beiden Enden entfernt für eine Messdauer von jeweils ca. 15 min platziert, der einzelne WWD-Sensor jeweils daneben. Dadurch ergaben sich je Kantholz für zwei Messstellen eine Messdauer von etwa 2mal 15 min. Die Sensoren waren zwar auf gleicher Höhe hinsichtlich der Balkenlänge, jedoch an verschiedenen Positionen im Querschnitt positioniert, so dass nicht sichergestellt werden konnte, dass sie die gleichen Signale erhielten – dies hätte nur mit großem Zeitaufwand erreicht werden können. Die gemessenen Impulsraten wurden für die AMSY-Anlage und den WWD jeweils auf einen Wert der Hits/h hochgerechnet, um den Vergleich zu ermöglichen.

Einige Tage nach Abschluss der Messungen wurden die Proben durch den Partner U. Noldt in je 15 Abschnitte aufgetrennt (Abb. 4 unten) und der Befall nach der Anzahl der aufgefundenen Larven im jeweiligen Abschnitt bewertet.

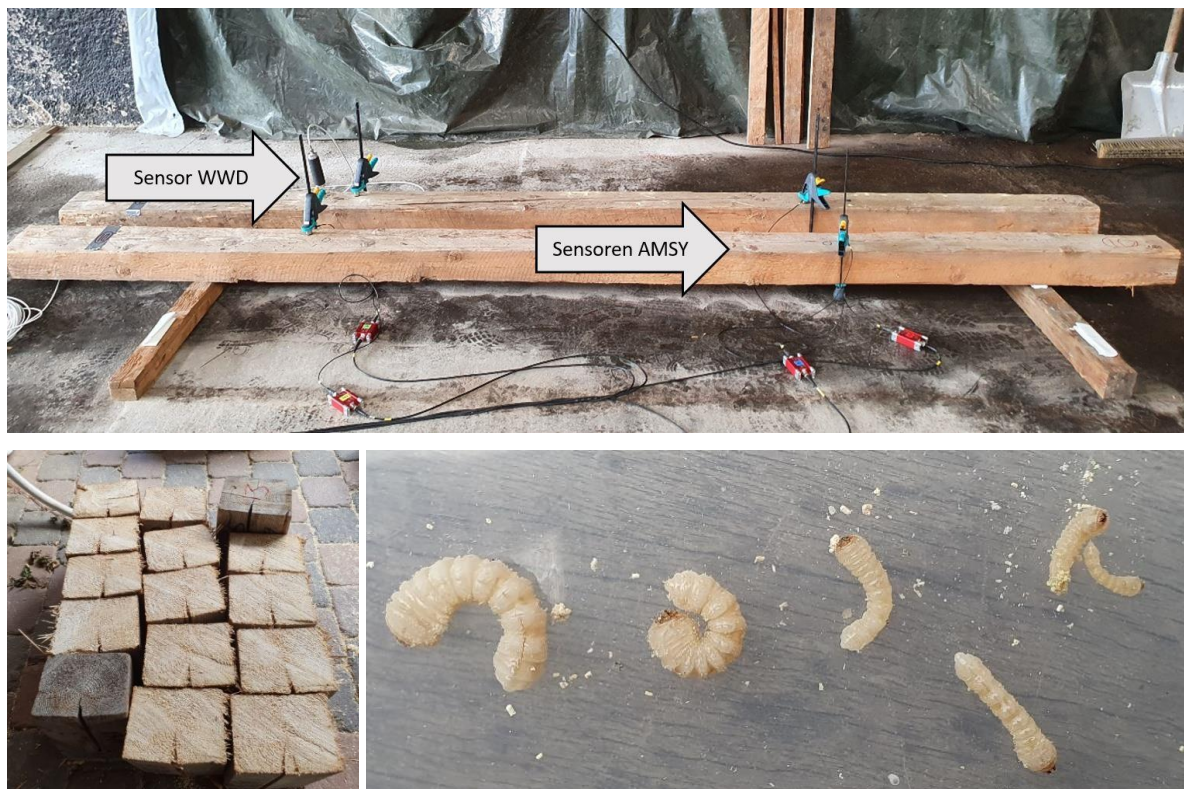


Abb. 4: oben 2 Kanthölzer mit Sensoren jeweils  $\frac{1}{4}$  Länge vom Balkenende entfernt (Fotos: U. Noldt)

Unten links Balkenabschnitt vor dem Aufspalten; unten rechts je zwei kleine, mittlere, große Larven

Balken 14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
AMSY				400/h								80/h			
WWD				500/h								400/h			

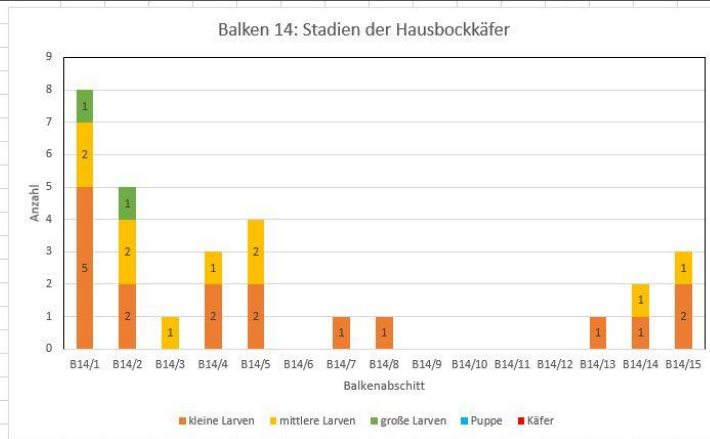


Abb. 5: Probe mit mittlerem Befall (29 Larven), Impulsraten bis zu 500/h, links stärkerer Befall (Grafik: Uwe Noldt)

Balken 9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
AMSY				30/h								200/h			
WWD				300/h								1250/h			

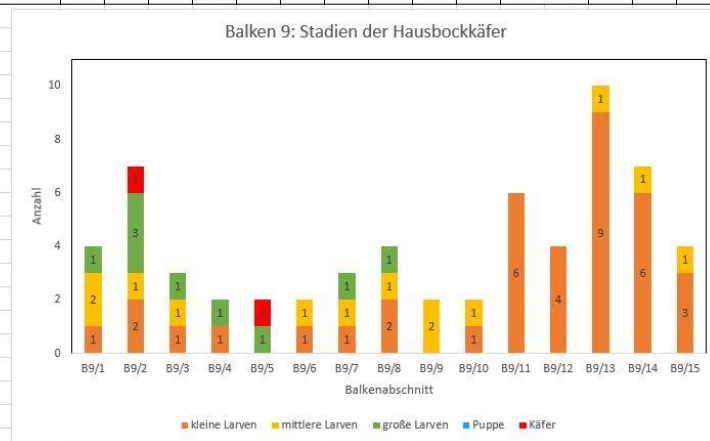


Abb. 6: Probe mit starkem Befall rechts (62 Larven), Impulsraten bis zu 1250/h, rechts stärkerer Befall (Grafik: Uwe Noldt)

Die Abb. 5 und 6 zeigen exemplarische Ergebnisse für Proben mit unterschiedlich starkem Befall: Die Anzahl der Larven (klassifiziert nach Größe, vgl. Abb. 4) sind als Balkendiagramm (Anzahl der Larven über Abschnitt) angegeben, darüber sind die beim jeweiligen Abschnitt gemessenen Impulsraten (hochgerechnet auf Hits/h) aufgeführt. Dabei waren die Abschnitte der akustischen Messungen nicht mit den aufgetrennten identisch – es wurde nur je eine akustische Messung an jeder Probenhälfte durchgeführt, weil der Aufwand für die Messungen sonst unverhältnismäßig groß geworden wäre.

Der Versuch zeigte, dass

- mit beiden Messgeräte (AMSY-Anlage und Woodworm Detector) bei abschnittswise Messung Befall weitgehend übereinstimmend detektiert werden kann,
- die auf Hits/h hochgerechneten Impulsraten gute Anhaltspunkte für Ort und Stärke des Befalls liefern,
- beim AMSY-System eine Impulsrate ab etwa 150 Hits/h auf Larvenaktivitäten hindeutet.

Es war allerdings nicht zu erwarten, dass die gemessenen Impulsraten zahlenmäßig direkt übereinstimmen, weil die Sensoren nicht direkt nebeneinander platziert werden konnten, unterschiedlich angekoppelt waren und verschiedene Frequenzbereiche erfassten.

### 3.2 Messungen an Prüfkörpern für Holzschutzmittel

Wenn die Wirksamkeit von Holzschutzmitteln zu prüfen ist, werden im Labor Prüfkörper mit Larven häufig vorkommender holzerstörender Insekten wie Nagekäfer, Splintholzkäfer, Hausbock mit einer oder mehreren Larven besetzt und mit dem Biozid beaufschlagt. Die Vitalität von Larven nach der Behandlung kann meist nur einmalig durch Aufspalten der Prüfkörper festgestellt werden. Ein Schnelltestverfahren, mit dem Larvenaktivitäten einfacher festgestellt werden können oder mit dem Wiederholungsmessungen auch über einen längeren Zeitraum möglich sind, wäre sehr hilfreich.

Mit dem mobilen Messgerät spotWave wurden im Labor der MPA Eberswalde orientierende Messungen an Prüfkörpern durchgeführt. Hier ist exemplarisch nur das Ergebnis für einen Versuch wiedergegeben. Dazu wurde eine mit einer Larve besetzte Probe stirnseitig mit zwei leeren Proben zusammengeklemt. Die Messwerte erscheinen beim spotWave als Live-Daten (Peak-Amplitude über einer Zeitachse) auf dem Display des Mobiltelefons und können zur numerischen Auswertung auf einen PC kopiert und mit der Software VisualAE des Herstellers Vallen ausgewertet werden. Dazu wurden die Hits mit mind. 3 Counts über die Messdauer aufsummiert und (abzüglich der Prüfsignale) auf eine Impulsrate in Hits pro Stunde (Hits/h) hochgerechnet.

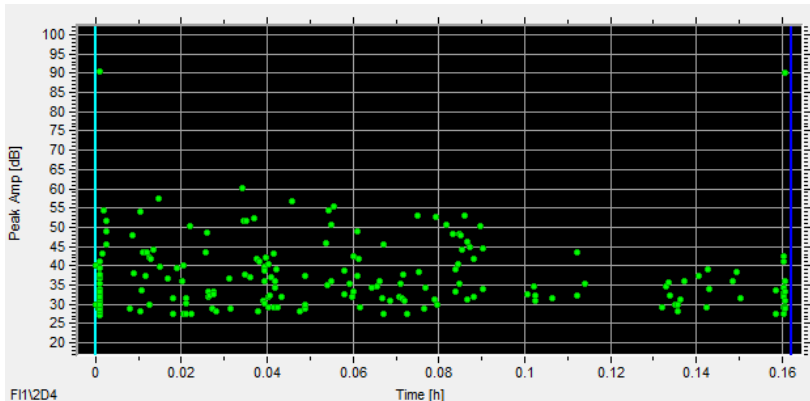


Abb. 7 oben: Messung an drei aneinandergereihte Proben zusammen, nur mittlere mit Larve besetzt; Sensor rechts an der Stirnseite einer der Leerproben

unten: Messergebnis – (Peak-Amplitude über Messdauer, Hits mit mind. 3 Counts, Messdauer ca. 10 min, Prüfsignale durch senkrechte Linien markiert, Impulsrate ca. 1250 Hits/h) – Bewertung: deutliche Aktivität (Foto und Grafik: Burkhard Plinke)

Vergleiche mit drei aktive Proben zusammen ergaben erwartungsgemäß eine höhere Aktivität, drei leere Proben ergaben keine relevante Aktivität. Die Erprobung zeigte, dass

- die Schallleitung auch über die Stirnflächen hinweg gegeben ist und Messungen an drei aneinandergereihten Proben gut möglich sind,

- beim spotWave-Gerät eine Impulsrate ab etwa 20 Hits/h (ohne Prüfsignale) auf Larvenaktivitäten hindeutet,
- eine Messdauer von ca. 5 min in der Regel schon ausreicht, um Aktivität zu verifizieren, aber auf ca. 30 min verlängert werden sollte, um sie auszuschließen.

Die akustische Prüfung eignet sich sehr gut als zerstörungsfreie Schnelltestmethode für die Aktivität von Laborproben. Im Routinebetrieb könnten ca. 10 Proben pro Stunde vermessen werden.

### 3.3 Weitere Praktische Erprobungen

#### Freilandproben unter Quarantänebedingungen

Proben mit vermutetem ALB-Befall wurden im Labor des JKI, Braunschweig gemessen, zunächst in einem Klimaschrank und einige Monate später noch einmal unter Quarantänebedingungen. Bei den Messungen über einen Zeitraum von ca. einer Woche ergaben sich auf allen vier Kanälen für Larven typische Aktivitäten [Becker, Berger et al. 2020]. Für den Versuch unter Quarantänebedingungen wurden dieselben Proben in einem begehbaren Käfig innerhalb einer Klimakammer gelagert und die Sensoren wieder an nahezu gleicher Position angebracht. Die Vorverstärker und Sensoren befanden sich innerhalb des Käfigs, die übrige Hardware für die Messdatenerfassung außerhalb. Zunächst wurde eine konstante Raumtemperatur von 23 °C vorgegeben, danach 3 jeweils 24stündige Sinusschwingungen zwischen +5 °C und + 10 °C (als Simulation dreier Wintertage), und danach wieder konstante Temperatur wie vorher. Auf allen 4 Kanälen zeigte sich, gemessen an der Impulsrate, die gleiche Periodizität wie im vorgegebenen Temperaturverlauf, die auf ebenfalls temperaturabhängige Larvenaktivitäten zurückgeführt werden können, jedoch nicht auf Quell-/Schwindvorgänge im Holz. Die Versuche zeigten,

- dass Langzeitmessungen auch bei Störungen durch Luftschall und räumlicher Trennung von Proben und Messanlage gut möglich sind,
- dass Larvenaktivitäten periodischen Temperaturschwankungen folgen.

#### Messungen in einem Holzhandelsbetrieb

Die Firma Huyskamp's Fijnhouthandel, Zwolle, Niederlande, handelt mit Importholz (vorwiegend Eiche) und stellt durch visuelle Kontrollen auf Ausschlupföcher, Bohrmehl etc. sicher, dass nur unbefallenes Holz ausgeliefert wird. Bei Verdacht auf Befall wird eine Lieferung einige Tage in einer Kältekammer gelagert, um evtl. enthaltene Larven abzutöten [Creemers 2020]. Um diesen Aufwand zu umgehen, wäre eine Messtechnik hilfreich, die den Verdacht auf Befall bestätigen oder auch ausräumen könnte. Daher wurden mit dem mobilen Messgerät spotWave orientierende Messungen an augenscheinlich befallenen Material durchgeführt. Es zeigte sich, dass

- das Messgerät spotWave gut mobil eingesetzt werden kann, um nacheinander Proben z.B. in einer Lagerhalle zu vermessen,
- nacheinander an verschiedenen Stellen zu gemessen und so z.B. innerhalb einer Stunde drei Proben bzw. Messstellen erfasst werden können,
- auch eine Langzeitmessung z.B. über Nacht praktikabel ist, wenn ein handelsüblicher Akku für Mobilgeräte (Powerbank) eingesetzt wird,
- eine laute Umgebung (Lagerbetrieb, Gabelstapler) sich praktisch nicht auf das Messergebnis auswirkt.



## Monitoring einer thermischen Bekämpfungsmaßnahme

Es gibt verschiedene gebräuchliche Methoden, um Schadorganismen in Massivholz zu bekämpfen, entweder chemische durch Biozide oder thermische durch Erwärmung mit Mikrowellen oder Heißdampf. Alle Verfahren haben ihre jeweiligen Vor- und Nachteile hinsichtlich Aufwand, Sicherheit und Arbeitsschutz. Eine thermische Bekämpfungsmaßnahme erfordert eine Holzinnentemperatur von mindestens 55°C für mindestens 60 min. Ein neues thermisches Verfahren [Müller, Melcher et al. 2019] verwendet selbstregulierende Heizkabel, um durch Kontakt mit einer glatten, wärmeleitenden Fläche Wärme ins Holz zu bringen. Dieses Verfahren wurde an mit Hausbocklarven besetzten Kantholzabschnitten erprobt und durch Messung der Holzinnentemperatur und gleichzeitige akustische Messung mit der vierkanaligen Messanlage AMSY-6 überwacht. Parallel dazu wurden zwei ebenfalls mit Larven besetzte Kontrollproben ohne Beheizung mit den beiden anderen Sensoren der vierkanaligen Messanlage bestückt.

Die Impulsraten der beiden erwärmten Proben lagen für die erste Stunde des Versuches auf dem gleichen Niveau wie die Vergleichsproben, stiegen nach 2 Stunden (gemessene Holzinnentemperatur > 50 °C) auf etwa die 10fache Impulsrate bei für Larvenaktivitäten untypischen, weitaus höheren Signalamplituden, begannen nach Abschalten der Heizung nach 2,5 Stunden wieder abzuklingen und fielen nach ca. 7 Stunden auf ein Niveau, das nicht mehr auf Larvenaktivitäten schließen lässt. Die Impulsraten der beiden Vergleichsproben blieben über die gesamte Versuchsdauer ungefähr auf gleichem Niveau, eine davon war deutlich aktiv. Der Erwärmungsversuch zeigte, dass

- durch eine Langzeitmessung mit der vierkanaligen stationären Messanlage ein Erwärmungsversuch anhand des Verlaufes der Schallemissionsrate überwacht werden kann,
- die im Massivholz messbaren Signale aufgrund von Larvenaktivitäten sich anhand der Impulsrate und der Amplitude von den bei Erwärmung bzw. Abkühlung auftretenden unterscheiden.

## 5. Schlussbemerkungen

In das Projekt flossen viele Vorarbeiten und Erfahrungen von anderer Seite ein. Es ist dabei gelungen, die akustische Untersuchungsmethode für Larvenaktivitäten sowohl für Langzeitmessungen unter schwierigen Bedingungen als auch für einen mobilen Einsatz auf den Stand der akustischen Messtechnik zu bringen und die Praxistauglichkeit nachzuweisen.

## Danksagung

Das Projekt InsectDetect wurde gefördert durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe im Rahmen des Waldklimafonds, Förderkennzeichen 22WK412101. Die Autoren bedanken sich herzlich für Beratungen, Kontakte, Versuchsmaterial und Erprobungsmöglichkeiten bei Hans Müller, Dörpen, Vallen Instruments, Wolfratshausen, der Materialprüfanstalt Brandenburg, Eberswalde, dem Heidelberghof Pehmöller, Schnakenbek, Huyskamp's Fijnhouthandel, Zwolle, und dem Julius-Kühn-Institut, Braunschweig.

## 6. Literatur

Becker, M., Berger, B., König, S., Taddej, A., Hoppe, B. und Plinke, B. (2020): Innovative Diagnosemethoden zum Nachweis holzerstörender Insekten. In: Journal für Kulturpflanzen 72(2020)8, S. 453-465 DOI: 10.5073/JfK.2020.09.01

- Creemers, J. (2012): Holzwurm aktiv ... oder nicht? In: Holz-Zentralblatt (2012)39, S. 993
- Creemers, J. (2020): Hout(worm) in de diepfries (Holz[wurm] tiefgekühlt) In: Houtwereld 73(2020)13, S. 32-33
- Creemers, J. G. M. (2015): Use of Acoustic Emission (AE) to Detect Activity of Common European Dry-Woodboring Insects: Practical Considerations. In: International Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering (NDT-CE), S. 573-580. Berlin.
- Müller, J., Melcher, E. und Welling, J. (2019): Bekämpfung von Holz zerstörenden Organismen mit selbstregulierenden Heizkabeln. In: Der Bausachverständige (2019)6, S. 28-33
- Noldt, U. (2014): Kap. 3.2 Insekten. In: G. Binker, G. Brückner, E. Flohr et al: Praxis-Handbuch Holzschutz : beurteilen, vorbereiten, ausführen, S. 112-153. Köln: Müller, 2014
- Nowakowska, M., Krajewski, A., Witomski, P. und Bobiński, P. (2017): Thermic limitation of AE detection method of old house borer larvae (*Hylotrupes bajulus* L.) in wooden structures. In: Construction and Building Materials 136(2017), S. 446-449 DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.01.012
- Pallaske, M. (1984): Aktivität, Orientierung und Fraßverhalten der Larven des Hausbockkäfers *Hylotrupes bajulus* L. im Holz. Dissertation. Ulm: Universität Ulm, Abteilung für Ökologie und Morphologie der Tiere, 1984
- Plinke, B. (1991): Akustische Erkennung von Insektenbefall in Fachwerk. In: Holz als Roh- und Werkstoff 49(1991)10, S. 404
- Plinke, B. (2021): InsectDetect : Detektion aktiver Schadinsekten im Holzhandel. Braunschweig: Fraunhofer WKI, 2021.  
<https://www.fnr.de/ftp/pdf/berichte/22WK412101.pdf>