

# Onderzoek aan cirkelzagen

Een cirkelzaag komt weleens voorbij in het natuurkunde-onderwijs, meestal bij de concepten frequentie en trillingstijd. Je vraagt dan om de frequentie van de cirkelzaag bij een bepaalde omwentelingstijd uit te rekenen. Leerlingen van het praktijkonderwijs gebruiken een cirkelzaag tijdens hun opleiding om werkstukken mee te maken. Bij het professioneel zagen van een triplex plaatje viel ons beiden de cirkelzaag pas echt op. Vanwege het enorme geluidsniveau bij het zagen (hoger dan 90 dB voor standaardcirkelzagen en risico op gehoorbeschadiging voor de gebruiker) is er veel onderzoek verricht om 'Low Noise' (LN) zaagbladen te ontwikkelen. In dit artikel gaan we meten aan deze *Low Noise*- en standaard cirkelzaagbladen. Het onderzoek dat hier beschreven wordt kan eenvoudig worden uitgevoerd door bijvoorbeeld leerlingen van vmbo-praktijkonderwijs en onderbouw havo/vwo, waarbij zij natuurkunde/techniek kunnen combineren met het meten met de computer.

Als we een foto van een 'Low Noise' cirkelzaagblad bekijken zien we een aantal zaken die meteen opvallen. Allereerst de tanden van de zaag, die een bepaalde hoogte hebben. Die hoogte heet in het Nederlands de tandholte. Deze tand-

holte is nodig om het zaagsel af te voeren, omdat anders het zaagblad vast kan lopen. Het aantal tanden per cirkelzaagblad kan sterk verschillen en bepaalt in grote mate het geluidsniveau als de zaag stationair loopt. Het geluid dat men hoort bij stationair

draaien wordt veroorzaakt door luchtverstoringen bij de tanden en het zaagblad en hangt af van de omloopsnelheid aan de rand van het zaagblad, de diepte van de tandholte en de verhouding tussen tandholte-breedte en bladdikte. Deze verstoringen laten het zaagblad in vibratietoestand(-en) komen die vergelijkbaar zijn met de modi van een ronde Chladni-schaal. Als de zaag in materiaal zaagt, komt daar extra geluidsniveau bij door het ingrijpen van tanden in het materiaal,



**NORBERT VAN VEEN** is docent Natuurkunde/Science op het Fons Vitae Lyceum in Amsterdam en werkt daarnaast bij CMA als didactisch medewerker natuurkunde.

**STEFAN LOOS** is Instructeur Bouw woning interieur (BWI) op het Teylingen College KTS in Voorhout en heeft daarnaast een Aannemersbedrijf met de naam SHS Services.





Figuur 1. Een Low-Noise cirkelzaagblad links en normaal zaagblad rechts



Figuur 2. Geluidsterkte opstelling van de  $\text{Æ}350$  mm cirkelzagen



waardoor zowel materiaal als zaagblad (en zaagopstelling) extra gaan vibreren. Verder zien we vraagtekenvormige inkepingen in de rand van het zaagblad. Deze hebben onder andere te maken met het uitzetten van het zaagblad. Als de temperatuur van het metaal stijgt, wil het uitzetten. Echter, de wrijvingswarmte tijdens het zagen wordt niet gelijk over het hele oppervlak van het blad verdeeld, waardoor het blad ongelijk wil uitzetten. Zowel het blad als de tanden worden, door wrijving met het hout, warmer. Alhoewel de tanden het heetst worden door het contact, worden ze ook het meest gekoeld door de lucht. Omdat de rand met tanden verstevigd is kan door deze ongelijke verdeling van de warmte het blad alleen maar zijdelings vervormen. Door de vraagtekenvormige inkepingen kan het blad echter 'in zichzelf' uitzetten en voorkom je dus dat het zaagblad kromtrekt. We zien als laatste nog lusvormige inkepingen op het zaagblad. Deze zorgen voor extra demping van vibraties en voorkomen dat het zaagblad in resonantie komt. Door de inkepingen verschuiven bo-

ventonen van het blad net een beetje buiten de frequenties die tijdens het zagen worden opgewekt en voorkom je resonantie.

### Metingen en opstelling

In dit experiment onderzoeken we het geluidsniveau en de frequentie die een zaagblad voortbrengt en de warmteverdeling op het zaagblad.

We meten de demping van de geluidsterkte bij twee cirkelzagen na aanslaan met een stemvork hamertje. Daarnaast meten we de geluidsterkte van beide cirkelzagen tijdens stationair draaien en als de cirkelzagen door hetzelfde hout zagen. We meten ook het frequentiespectrum van het geluid van een zaagblad. Met behulp van de FLIR- C2-warmtecamera kijken we naar de temperatuurverdeling op een zaagblad na het zagen.

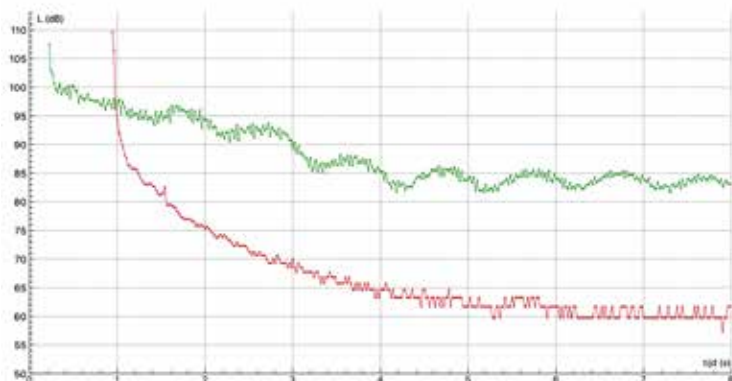
### Demping van de geluidsterkte

We plaatsen beide cirkelbladen daartoe met het centrale gat op een draadeind en slaan daarna tegen het blad van de zaag (figuur 2). We slaan de bladen aan met een stemvorkha-

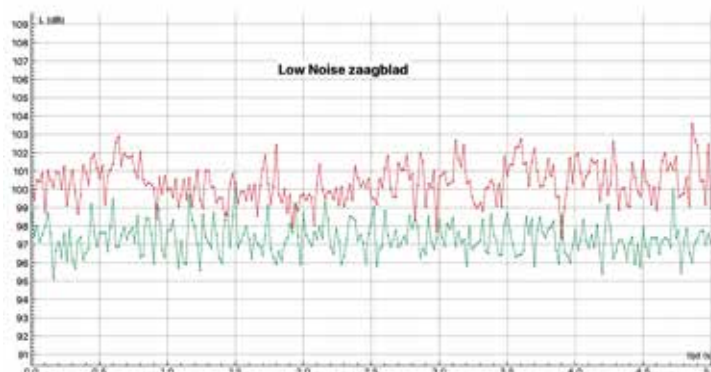
mertje en meten met een geluidssensor. In figuur 3 is het resultaat te zien van de meting van de demping van de cirkelzagen. De dempingscurves na het bereiken van een geluidsterkte van +/- 105 dB worden getoond. Duidelijk te zien is dat de 'Low Noise' cirkelzaag heel snel dempt in vergelijking met de standaard cirkelzaag, een resultaat dat overeenkomt met bron 5. Bij het normale cirkelzaagblad is ook een zweving in de geluidsterkte te zien en een veel langzamere demping. (Dit is ook duidelijk te voelen aan dit zaagblad; het bleef lang heftig trillen.)

### Geluidsterkte vergelijken

We onderzochten het verschil in geluidsterkte van beide zagen in stationaire en zagende toestand, door de geluidssensor op een afstand van 60 cm van de zaag te plaatsen en te meten met Coach 7. We meten het geluidsniveau (dB(C)) tegen de tijd. Met optie statistiek in Coach 7 bepalen we het gemiddelde van de gemeten geluidsniveaus in dB(C). Zie tabel 1. De resultaten zijn niet zo spectaculair als in bron 1, waar verschillen van ruim 15 dB (A) werden gemeten.



Figuur 3. Geluidsterkte van de aangeslagen cirkelzaagbladen (groen: normaal zaagblad en rood: Low Noise zaagblad)



Figuur 4. Geluidsterkte tijdens stationair en zagen met het Low Noise zaagblad



Figuur 5. IR- en zichtbaar lichtfoto van een zaagblad

### Frequentiespectrum

Om meer te weten te komen over de frequenties die de cirkelzagen produceren doen we ook geluidsmetingen met een hoge meetfrequentie en korte meettijd aan het geluid, om zo te kijken of we frequenties en boventonen kunnen meten. We houden de geluidssensor bij elke meting op gelijke afstand (60 cm) en laten het *Low Noise* zaagblad stationair draaien (3000 rpm). In Coach 7 gebruiken we signaalanalyse met een Fourieranalyse om de meest voorkomende frequenties te achterhalen. We zien in figuur 7 vier opvallende pieken. De twee hoogste komen overeen met respectievelijk ongeveer 346 en 690 Hz. De twee lagere pieken met 61 en 185 Hz. Deze twee paren komen overeen met boventonen voor instrumenten met respectievelijk twee open uiteinden (n=1,2,3 et cetera) en een instrument met een gesloten en een open uiteinde (n=1,3,5 et cetera).

### Temperatuur van het zaagblad

Met behulp van de FLIR C2 IR camera bekijken we de temperatuurverdeling van een

	Geluidsniveau stationair	Geluidsniveau zegend.
Normaal zaagblad	99.1 dB (C)	101.5 dB(C)
Low-Noise zaagblad	97.4 dB(C)	100.4 dB (C)

Tabel 1

zaagblad na zagen van een stuk hardhout. We stellen de camera in op een lage emissiviteit, omdat we gaan meten aan metalen ( $\epsilon = 0,60$ ). We zien in het midden en aan de rand een hogere temperatuur (figuur 5). Hetgeen te verwachten is omdat daar een hogere wrijving is.

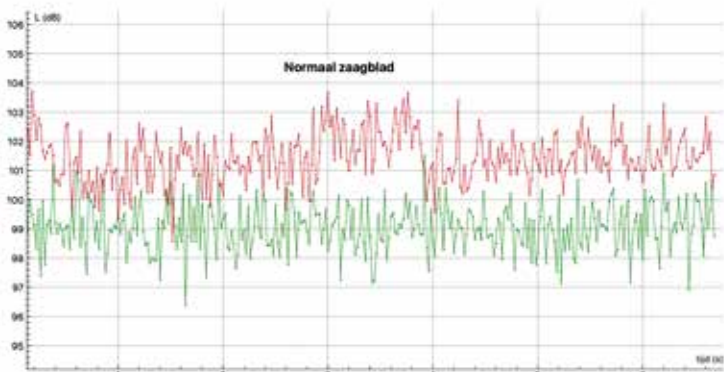
### Conclusie

In een cirkelzaagblad zit meer natuurkunde dan we in eerste instantie hadden verwacht. Na bestuderen van de vakliteratuur blijkt dat er heel veel onderzoek wordt gedaan aan het veiliger maken van cirkelzagen. Deze aanpassingen aan cirkelzaagbladen zijn ook door de leerlingen eenvoudig te zien en te meten. De demping van de cirkelzaagbladen kun je in de les al snel laten horen. Het verschil in geluidsterkte tijdens het zagen viel ons wat tegen. De frequentieanalyse geeft mooie

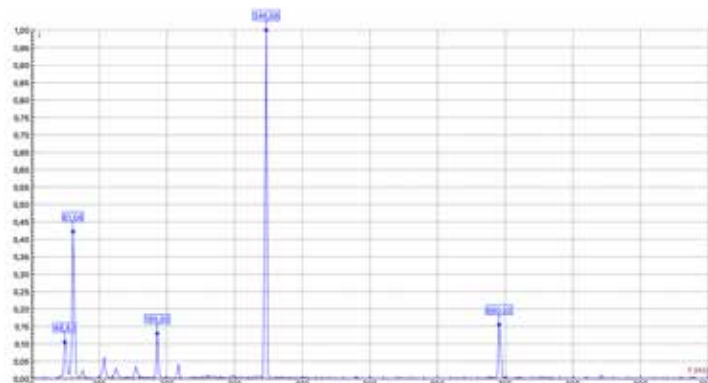
boventonen weer, maar daarvan is verdere analyse voor de beoogde doelgroep waarschijnlijk te lastig. Het maken van IR-foto's van roterend gereedschap in de werkplaats geeft leerlingen inzicht in wat er daadwerkelijk gebeurt in een machine en waar en waarom er slijtage optreedt. ●

### BRONNEN

- Schelle, F., Janssen, M & Maue, J. (2016). *Neuartige Lärm-geminderte Sageblätter für die Holzbearbeitung*, DAGA 2016 Aachen. <http://circularsawblade.net/>
- Occupational Safety & Health Service New Zealand (1999). *Noise Abatement for Circular Saws*.
- Spruit, M.; Rao, E.J. e.a (2004) Table Saw Noise Control. *Sound and Vibration*, June 2004.
- Maue, J. (2015) *Gerauschgeminderte Diamant-Trennscheiben für Steinsagen*. *Lärmschutz-Arbeitsblatt*, December 2015.



Figuur 6. Geluidsterkte tijdens stationair en zagen



Figuur 7. Frequentie analyse van het Low Noise zaagblad