

## De Brüel & Kjær Noise Analyzer 4426

Nico Smalenburg

### Een analoge rekenmachine

In aansluiting op het artikel over analoge rekenmachines/computers van de hand van Simon van der Salm en mij, en mijn artikel over de berekening van verkeerslawaai, beiden in MIR77, volgt hier een artikel over de werking en restauratie van de Noise Level Analyzer, type 4426, gebouwd door de gerenommeerde Deense firma van geluids-meetapparatuur Brüel en Kjær (B&K).



### Verkeerslawaai

Deze analyzer van B&K (aangeduid als de B&K-4426) is feitelijk een analoge rekenmachine. Via een microfoon, kan het apparaat het geluidsniveau  $L$  (in dB) van bijvoorbeeld verkeerslawaai, dat flink kan fluctueren als functie van de tijd, op een bepaalde plek meten en statistisch analyseren.



Afbeelding 1: De frontplaat met display en de diverse instelknoppen en functies van de B&K-4426.

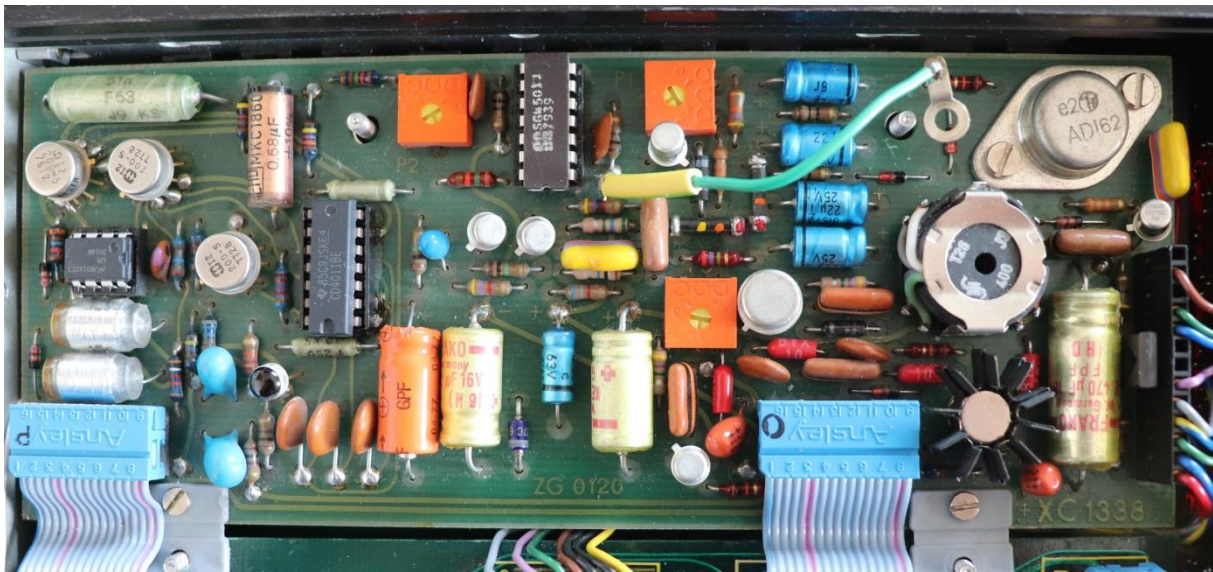
Autoverkeer, bijvoorbeeld en lange stoet voertuigen, vormt een zogenaamde *lijnbron*. De voertuigen komen van grotere afstand in de richting van de microfoon, om vervolgens, na passage van de geluidsmeter, weer te verdwijnen. Het geluidsniveau  $L$  neemt dus eerst, als functie van de tijd gezien, toe en na passage van de microfoon weer af. De B&K-4426 berekent bijvoorbeeld, met een opvallende resolutie, hoe lang  $L$  zich boven een bepaalde drempel bevindt door het toepassen van statistiek die verderop in dit artikel wordt verklaard. Hij berekent ook het zogenaamde *equivalente geluidsniveau*  $L_{eq}$ , van een dergelijke stoet voertuigen en nog enkele andere parameters.

## Reparatie

Onlangs heb ik twee B&K-4426-analysatoren in mijn bezit gekregen. Het bleek al snel dat ze niet meer goed werkten. Het ene apparaat had een keuzeschakelaar die geheel gecorrodeerd was en waar geen beweging meer in te krijgen was. De display gaf wel de voedingsspanning van 12,76 V weer. In het andere toestel werkte die keuzeschakelaar nog goed, terwijl echter de display geen enkel resultaat liet zien. Ik heb de werkende schakelaar uit het ene in het andere toestel gezet. Dat werkte toen weer gedeeltelijk: het toestel gaf op de display niet meer aan dan de voedingsspanning, terwijl de *Power On*-led, de *Calculate*-led, en de *Sample*-led boven de display (zie afbeelding 1) aan waren.

Er was dus kennelijk nog een technisch mankement op te sporen en op te lossen. De twee B&K-4426's bevatten ieder een groot aantal printplaten met elektronische onderdelen en verrassenderwijs ook een aantal geïntegreerde schakelingen (IC's). Die waren voor de jaren 60, waarin dit toestel werd gebouwd, een noviteit.

Gelukkig heb ik de beschikking over twee van dergelijke toestellen, zodat door middel van printen-uitwisseling kon worden bepaald in welke printplaat een fout zat. Aan de onderkant van de B&K-4426 zijn twaalf printplaten in connectoren geplaatst en tien daarvan konden vrij gemakkelijk verwisseld worden. Deze printplaten vormen zowel het rekenhart en het geheugen van het toestel. Zodoende kon stukje bij beetje worden bepaald of er in die printplaten een fout te ontdekken viel.



*Afbeelding 2: De printplaat met daarin een fout.*

De twee overige van de twaalf printplaten zijn enerzijds bedoeld om het ingangssignaal te sturen naar het geheugen en de rekenprintplaten, en anderzijds om de verschillende parameters en de gekozen uitvoer in te stellen. In deze printplaten, in beide toestellen, zijn geen onvolkomenheden geconstateerd, zodat ik ervan uit kon gaan dat die goed werken.

Aan de bovenkant bevindt zich een printplaat waarmee onder andere de tien connectoren verbonden zijn en waarin de bovengenoemde twaalf printplaten zijn bevestigd. Bovendien is er nog een extra printplaat aangebracht. Ik kwam er achter dat op die printplaat één of meer fouten voorkwamen. Ik heb bijna al de transistoren op die printplaat kunnen vervangen en ook de drie IC's. De meeste transistoren zijn van een algemeen type, BC107 B, dat nog gemakkelijk verkrijgbaar is.

In het bijzonder werkten een of meer van die drie IC's niet naar behoren. Ik kon op basis van de typenummers van de IC's achterhalen wat hun functie is en zodoende constateren dat ze waarschijnlijk alle drie niet goed meer functioneerden. Het ene IC, de LM 308 AN, is een operationele versterker; het tweede IC is de SG 4501 J, een duale stroomregulator; het derde IC is de CD4011 BE, een impulsgenerator. Er zijn nog drie andere IC's, waarvoor ik echter geen vervanger kon vinden, maar ik had al langer het idee dat het hoofdprobleem de werking van de impulsgenerator was, omdat die onvoldoende werd aangestuurd door de spanningsregelaar.

De drie hierboven met typenummer genoemde IC's zaten echter in de printplaat gesoldeerd. Met een fijn slijptolletje heb ik de contactpootjes doorgeslepen en de restanten uit de printplaat los-gesoldeerd. Vervolgens heb ik enkele IC-voetjes er in-gesoldeerd, waardoor ik de drie defecte IC's door nieuwe IC's, nu in IC-voetjes, heb kunnen vervangen. En dat bleek voldoende te zijn. Eén van B&K-4426-analysatoren werkt weer zoals de bedoeling is.

### Draaischakelaars

Zie afbeelding 1 van de frontplaat. Op het frontpaneel bevinden zich vijf draaischakelaars:

1. Met de draaischakelaar *Sample Period* kan de lengte van de bemonsteringsperiode  $T_{\text{sample}}$  van 0,1 seconde tot 10 seconden worden ingesteld. In die bemonsteringsperiode wordt een steekproef van monsters van het waargenomen geluidsniveau  $L$  in het geheugen opgeslagen.
2. Met de draaischakelaar *Range* kan een geluidsniveau-bereik met een breedte van 64 dB worden gekozen, bijvoorbeeld van 26 – 90 dB.
3. Met de middelste draaischakelaar *Channel Selector* kan het waargenomen geluidsniveau  $L$  in een specifiek dB-kanaal worden gekozen.
4. Met de keuzeschakelaar *Display* kan men kiezen voor de weergave van diverse data op de display, bijvoorbeeld het equivalente geluidsniveau  $L_{\text{eq}}$  of de geluidsniveau-drempel  $L_N$  voor een willekeurige  $N\%$ . Verderop in dit artikel vindt u de verklaring van deze parameters.
5. Met de meest rechter draaischakelaar *Function* zijn de aan/uit-functie, *Reset*-functie, controle van de batterijspanning, *Stand by*- en *Operate*-functie in te stellen.

### Duimwielschakelaars

Zie afbeelding 1 van de frontplaat. Links boven op het frontpaneel bevinden zich twee duimwielschakelaars:

1. Met de meest linker duimwielschakelaar is het aantal te nemen geluidsmonsters ( $\times 1000$ ) gedurende de bemonsteringsperiode  $T_{\text{sample}}$  in te stellen (maximaal 65.000).
2. Met de tweede duimwielschakelaar is de gewenste  $L_N$ -geluidsniveau-drempel van  $N\%$  te kiezen.

### Controle-leds

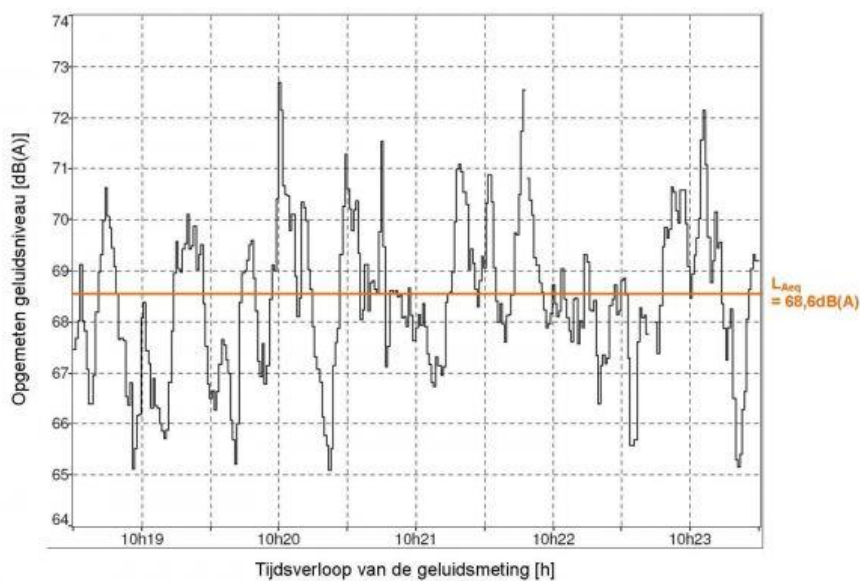
Zie afbeelding 1 van de frontplaat. Rechts boven op het frontpaneel bevinden zich vier signaleringsleds: *Sample*, *Overload*, *Calculate* en *Power On*.

### Microfoon

Afbeelding 3 toont een meetconfiguratie waarmee bijvoorbeeld verkeerslawaai te meten en statistisch te analyseren is. Deze meetconfiguratie bestaat uit een B&K-2203 geluidsmeter met ingeschakelde A-weging (A = akoestisch, een correctiefilter dat de gevoeligheid van het menselijk gehoor voor verschillende frequenties corrigeert), een B&K-2317 level recorder en een B&K-4426 Noise level analyzer.



Afbeelding 3: De meetconfiguratie. Op de B&K-4426 is in de display het 'bijna-momentane' equivalente geluidsniveau als  $LA_{eq}$  van 59,0 dB af te lezen. Met de draaischakelaars van afbeelding 1, zijn de verschillende waarden en statistische uitkomsten van de meting in te stellen en af te lezen van de display.



Afbeelding 4: Voorbeeld van een momentaan geluidsniveau in dB(A) als functie van de tijd  $t$ , gemeten over een meetinterval  $T$  van 5 minuten van  $t = 10:18:30$  tot  $t = 10:23:30$ . Het gemiddelde, A-gewogen, geluidsniveau over dit interval is hier  $LA_{eq} = 68,6$  dB(A). Meting verricht in België.

### $LA_{eq}$ – Het A-gewogen equivalente geluidsniveau

Eén van de parameters, waarvan de waarde met de B&K-4426 kan worden bepaald, is het equivalente geluidsniveau. Afbeelding 4 toont een typische grafiek van een dB(A)-meting van bijvoorbeeld verkeerslawaaï als functie van de tijd  $t$ .  $LA_{eq}$  is de over een meetinterval  $T$  berekende gemiddelde waarde van het waargenomen geluidsniveau  $L$ , gecorrigeerd door het zogenaamde A-filter:

$$LA_{eq} = \frac{1}{T} \int_0^T LA(t) dt \quad (1)$$

In afbeelding 4 zien we het equivalente geluidsniveau van 68,6 dB van de waarnemingen gedurende een specifiek meetinterval  $T$ .

Internationaal is  $LA_{eq}$  de meest gebruikte parameter waarmee men het geluidsniveau kenmerkt. Uit onderzoek blijkt namelijk dat er een grote correlatie bestaat tussen de door omwonenden van wegen met druk verkeer (subjectief) ervaren geluidshinder en deze  $LA_{eq}$ .

Formule (1) toont dat het equivalente geluidsniveau sterk afhankelijk is van enerzijds het gekozen nulpunt van het meetinterval en anderzijds van de lengte  $T$  van dat interval. We kunnen formule (1) dus ook toepassen op de veel kortere bemonsteringsperiode  $T_{sample}$ , die bij B&K-4426 kan worden ingesteld tussen 0,1 s en 10 s:

$$LA_{eq,sample} = \frac{1}{T_{sample}} \int_0^{T_{sample}} LA(t) dt \quad (2)$$

Door een snelle opeenvolging van korte bemonsteringsperiodes  $T_{sample}$  vinden we een in de tijd discrete rij equivalente geluidsniveaus die samen een ‘bijna momentaan’ equivalent geluidsniveau signaal vormen. Men spreekt over het *continue* equivalente geluidsniveau, hoewel die benaming strikt genomen niet correct is. In afbeelding 3 is dat ‘bijna momentane’ geluidsniveau, gedurende een specifieke bemonsteringsperiode, gelijk aan 59,0 dB(A). Dit equivalente geluidsniveau volgens (2) kan natuurlijk aanzienlijk verschillen van het equivalente geluidsniveau (1), bijvoorbeeld 68,6 dB(A), dat over een veel langer meetinterval  $T$  wordt waargenomen.

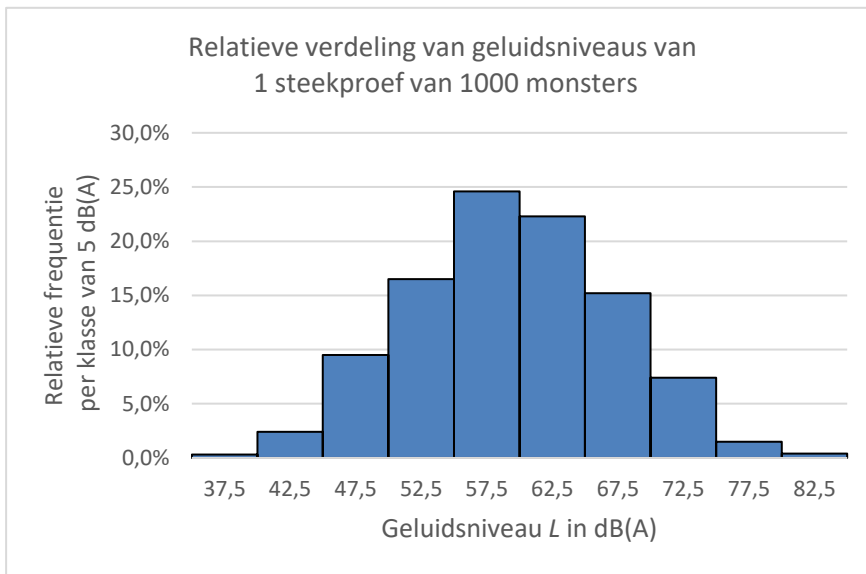
### Histogram

De B&K-4426 vormt intern, per steekproef met bemonsteringsperiode  $T_{sample}$ , virtueel een histogram. De vorm ervan is min of meer Gaußisch. Zie afbeelding 5. De B&K-4426 neemt gedurende de bemonsteringsperiode  $T_{sample}$  een steekproef van  $m$  waarden van het waargenomen (A-gewogen) geluidsniveau  $LA$ . De met de linker duimwielchakelaar ingestelde waarde van  $m$  is bijvoorbeeld 1000. Het ingestelde geluidsniveau-bereik wordt onderverdeeld in een aantal dB(A)-kanalen. Voor het overzicht veronderstellen we hier slechts 10 kanalen. In dit fictieve voorbeeld heeft elk kanaal met nummer  $i$  een breedte van 5 dB(A) (= resolutie). Het meest linker kanaal  $i = 1$  loopt van 35 tot 40 dB(A); het volgende van 40 tot 45 dB(A); enzovoorts.

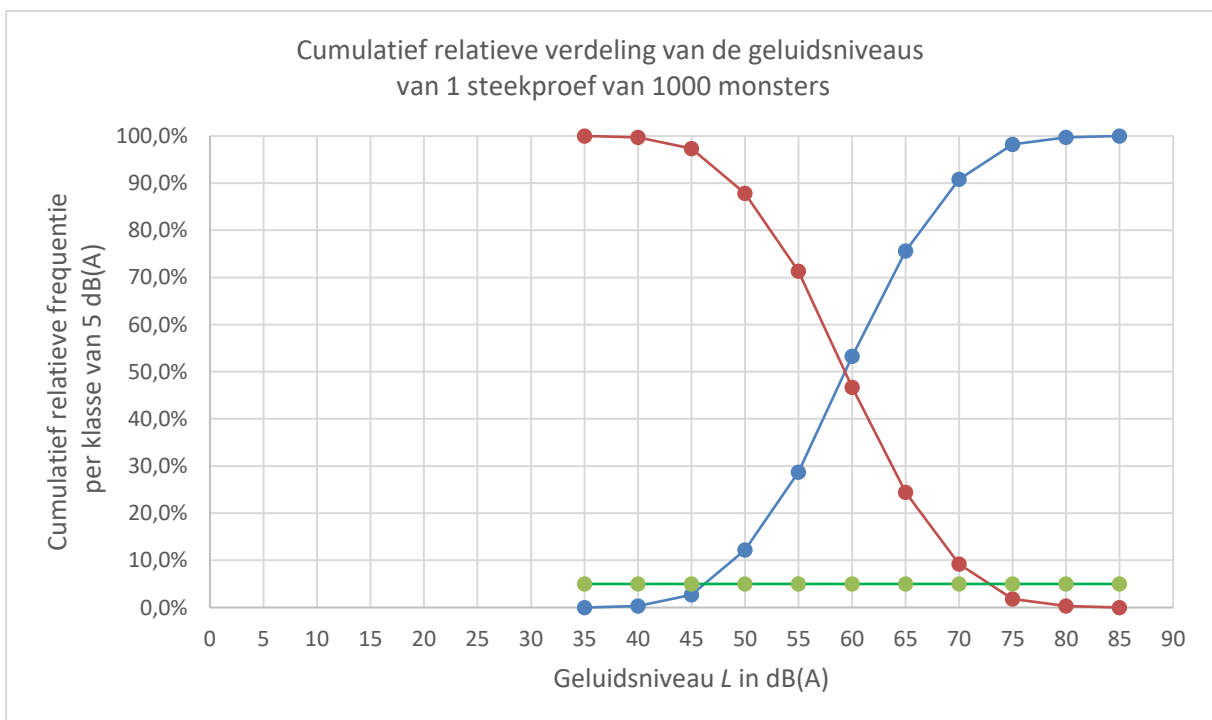
Het apparaat telt per kanaal  $i$  hoe vaak het een geluidsniveau in dat  $i^e$  kanaal waargenomen heeft, alsmede de relatieve frequenties  $f_{i,rel}$  van die waarnemingen. Het resultaat is een histogram zoals in afbeelding 5, dat het spectrum van het A-gewogen geluidsniveau  $LA$  in de steekproef vertegenwoordigt. Het equivalente geluidsniveau van de steekproef berekent het toestel via het histogram als volgt:

$$\begin{aligned}
 LA_{eq, sample} &\approx \frac{1}{T_{sample}} \sum_i LA_i \cdot f_i \cdot \Delta T_{sample} \\
 &\approx \frac{1}{m \Delta T_{sample}} \sum_i LA_i \cdot f_i \cdot \Delta T_{sample} \\
 &\approx \sum_i LA_i \cdot \frac{f_i}{m} \\
 &\approx \sum_i LA_i \cdot f_{i,rel}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Hierin is  $m$  het aantal monsters in de steekproef,  $f_i$  de waarnemingsfrequentie van de  $i^e$  klasse,  $LA_i$  het klassenmidden van de  $i^e$  klasse en  $\Delta T_{sample}$  de tijd van één monstername.



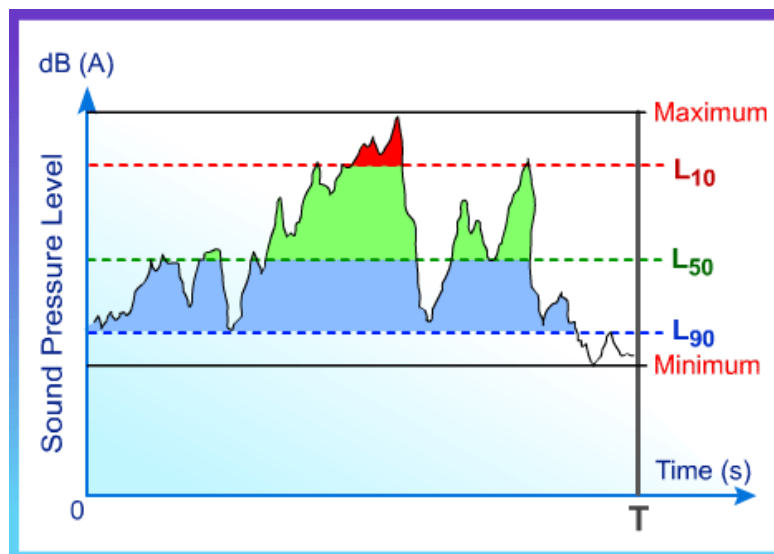
Afbeelding 5. Het spectrum van de geluidsniveaus, verdeeld in 10 klassen (kanalen) van ieder 5 dB(A) breed. De gemiddelde waarde van deze steekproef is 59,0 dB(A), de waarde die de display in afbeelding 3 toont.



Afbeelding 6. De blauwe grafiek toont de cumulatieve verdeling van de verdeling in afbeelding 5. De rode grafiek is de tegengestelde daarvan. De groene, horizontale lijn bij 5% laat zien dat 5% van de waargenomen monsters in de steekproef een geluidsniveau boven circa 72,5 dB(A) heeft. Deze drempel wordt  $L_5$  genoemd. Dus, gedurende deze bemonsteringsperiode is het geluidsniveau gedurende 5% van de tijd boven 72,5 dB(A) gekomen. De blauwe en rode grafiek snijden elkaar bij het mediane geluidsniveau  $L_{50}$  van de monsters, dat ongeveer gelijk is aan het gemiddelde geluidsniveau van 59,0 dB(A).

### Cumulatieve verdeling en $L_N$ -drempels

Afbeelding 6 toont de cumulatief relatieve verdeling (blauwe grafiek) van de geluidsniveaus in de steekproef. Het snijpunt van de rode grafiek en de groene lijn bepaalt de  $L_5$ -drempel van 72,5 dB(A). Zie afbeelding 7 voor de definitie van enkele andere veel gebruikte geluidsdrempels.



Please note that  $L_{10} > L_{50} > L_{90}$  for the same sound or noise.

Afbeelding 7. De definitie van diverse  $L$ -drempels.

Bron: [https://www.epd.gov.hk/epd/noise\\_education/web/ENG\\_EPD\\_HTML/m2/types\\_3.html](https://www.epd.gov.hk/epd/noise_education/web/ENG_EPD_HTML/m2/types_3.html)

Zo zijn  $L_{95}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_5$  de drempels die gedurende 95%, 50% en 5% van de bemonsteringsperiode bereikt of overschreden worden. Deze drie drempels zijn achtereenvolgens het achtergrond-geluidsniveau, het mediane geluidsniveau (door het Gaußische karakter van het histogram ongeveer gelijk aan het gemiddelde geluidsniveau) en het piek-geluidsniveau. Als je voor het meten van bijvoorbeeld het piekgeluidsniveau kiest, stel je keuzeschakelaar 4 op het frontpaneel van het toestel in op  $L_N$  en de rechter duimwielchakelaar op 05.

Net zoals bij het equivalente geluidsniveau geldt, vooropgesteld dat de bemonsteringsperiode  $T_{\text{sample}}$  veel korter is dan de totale meettijd  $T$ , dat de stroom achtereenvolgende  $L_N$ -drempels gezien kan worden als een ‘bijna momentane’ (continue) functie van de tijd. Deze meting kan de B&K-4426 in *real time* uitvoeren als de keuzeschakelaar 4 op de betreffende stand  $L_N$  wordt ingesteld.

### Conclusie

De belangrijkste eigenschap van de B&K-4426 is dus in eerste instantie niet die van geluidsmeter, maar een apparaat dat vooral de waarden van rekenkundige en statistische grootheden van de meetresultaten bepaalt. We hebben hier duidelijk met een analoge rekenmachine te maken.