

# Antigeluid werkt!

**Antigeluid spreekt al jaren tot de verbeelding en het principe is fantastisch; geluid met geluid bestrijden! Dat wil zeggen, in theorie, want het heeft nog weinig geleid tot praktische toepassingen in ons alledaagse leven. Is de praktijk dan zoveel weerbarstiger? Het antwoord wordt gegeven in een proefopstelling die Peutz heeft ontworpen en gebouwd in het kader van het project Sensor City.**

Door: Edwin Buikema en Fokke van der Ploeg

## Over de auteurs:

Ir. H. Buikema en ir. F.D. van der Ploeg zijn adviseurs op het gebied van geluid en trillingen bij Peutz bv.

## HET PROJECT SENSOR CITY

Eén van de nieuwe kansen voor de toekomst is sensortechnologie, mede dankzij de snelle opmars van de elektronica. Zo zitten de smartphones tegenwoordig al vol met sensoren waar je bijvoorbeeld al simpele geluid- en trillingmetingen mee kunt doen. In het noorden van ons land zijn vele instellingen en bedrijven gevestigd die hard werken aan de ontwikkeling van de sensortechnologie. De provincie Drenthe en de gemeente Assen hebben daarom het project Sensor City in het leven geroepen. In Assen is in dat kader een groot meetnetwerk gerealiseerd waarmee verschillende complexe sensorsystemen worden ontwikkeld, als proeftuin en etalage voor de toepassing van deze sensorsystemen. Enkele demonstratieopstellingen moeten aantonen wat allemaal bereikt kan worden met behulp van sensoren.

Eén van deze demonstratieopstellingen heeft betrekking op antigeluid bij een grote industriële bron in Assen. Het doel is een antigeluidopstelling te plaatsen bij een groot transformatorstation en de effecten hiervan inzichtelijk te maken. De uitdaging van dit project is het bedenken, uitwerken én realiseren van een antigeluid testopstelling. Met name dat laatste is een uitdaging; er is immers al veel in theorie bedacht, maar nog zo weinig in praktijk laten zien.

## ANTIGELUID IN PRAKTIJK

Al sinds 1933 is er het eerste patent op een antigeluid-concept. Sindsdien zijn er tot de dag van vandaag vele patenten gevolgd. Waarschijnlijk heeft vooral de juridische tak hiervan geprofiteerd, want tot veel praktische toepassingen heeft dit nog niet geleid. Een bekende toepassing die het wel heeft gehaald is de toepassing van antigeluid in een hoofdtelefoon. Andere voorbeelden zijn toepassingen in ventilatiekanalen en in propellervliegtuigen.

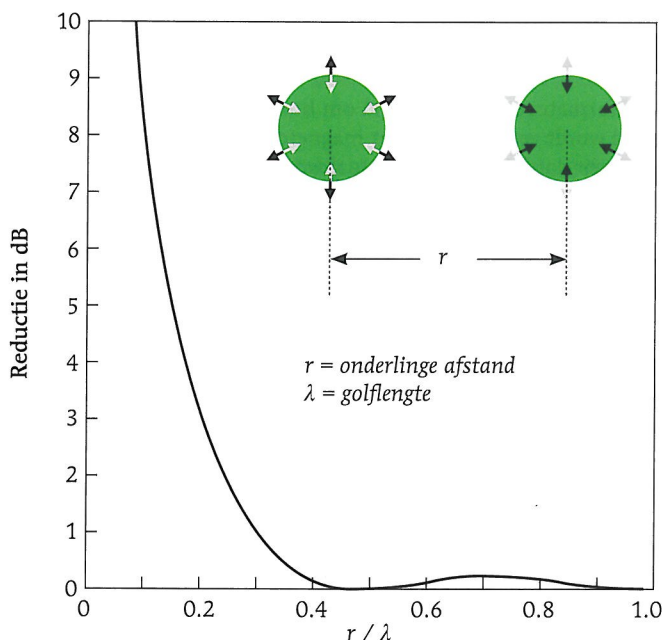
Ook wordt het toepassen van antigeluid wel vaak in relatie gebracht met transformatoren. Tenminste, het wordt beweerd en hier en daar zijn er claims te vinden waaruit dat zou moeten blijken. De toepassing van antigeluid bij transformatoren is echter over het algemeen nog slechts onderwerp van wetenschappelijk onderzoek; enkele buitenlandse universiteiten doen hier al tientallen jaren onderzoek naar. In Nederland wordt het niet toegepast en er zijn geen leveranciers van commerciële antigeluidsystemen voor transformatoren.

Dat er tot nog toe niet veel commerciële antigeluidsystemen zijn heeft met name te maken met de robuustheid van de regelsystemen (elektronica) en de kosten. Zo werkt een geluidsscherm altijd, terwijl dit voor de vol met elektronica zittende antigeluidsystemen nog niet altijd kan worden gezegd. Ook waren de kosten in vergelijking met passieve maatregelen nog relatief hoog. Maar de elektronica zit tegenwoordig in een enorme lift; zo kan een beetje smartphone tegenwoordig al veel meer én sneller dan een computer 10 jaar geleden. Omdat tegenwoordig overal veel slimme elektronica wordt gebruikt lopen ook de kosten enorm terug en neemt de robuustheid toe. Dit biedt dus nieuwe kansen voor antigeluid.

## ANTIGELUID IN THEORIE

Antigeluid wordt in het Engels ook wel aangeduid als "Active Noise Control" en is het op een actieve manier bestrijden van geluid met geluid. Een passieve manier van geluidbestrijding is bijvoorbeeld het toepassen van geluidschermen of geluiddempers.

Antigeluid is gebaseerd op een eenvoudig natuurkundig werkingsprincipe met een moeilijke term, namelijk destructieve interferentie. Dit is het meest eenvoudig uit te leggen aan de hand van een monopole puntbron. Deze bron straalt in alle richting evenveel geluid uit en kan worden voorgesteld als een pulserende



FIGUUR 1: THEORETISCH MAXIMAAL HAALBARE REDUCTIE

bol die uitzet en weer krimpt. Hierdoor wordt afwisselend rondom de bol een geluiddrukmaximum (uitzetten) en -minimum (krimpen) gecreëerd. Deze geluiddrukmaxima en -minima breiden zich vervolgens als geluidgolven voort in het omringende medium (lucht).

Het wordt interessant als we in de buurt van deze pulserende bol een tweede, identiek pulserende bol plaatsen, maar dan in tegenfase. Dat betekent dat als de eerste pulserende bol uitzet, dat dan de tweede pulserende bol krimpt en vice versa. Het geluidveld rondom de eerste bol wordt door deze tweede pulserende bol beïnvloed, een verschijnsel dat interferentie heet. Indien de geluidniveaus door deze tweede bol worden verlaagd, dan is sprake van een "destructie" van het geluid, ofwel destructieve interferentie.

Indien twee identiek pulserende bollen, die in tegenfase zijn met elkaar, steeds dichterbij elkaar worden gezet wordt steeds minder geluid afgestraald naar de omgeving (zie figuur 1). De theoretisch maximaal haalbare reductie is hierbij afhankelijk van de onderlinge afstand van de bollen en van de frequentie van het geluid. Pas bij een onderlinge afstand van 1/10 van de golflengte van het geluid wordt een significante reductie behaald van circa 10 dB. Voor een frequentie van bijvoorbeeld 100 Hz betekent dit dat de onderlinge afstand tussen de bollen maximaal 34 cm mag zijn. Ook moet dan de bron van het geluid, in dit geval de bollen, klein zijn ten opzichte van de golflengte van het geluid. Indien de bollen op exact dezelfde plaats kunnen worden gebracht is er volledige uitdoving. Dat is het "theoretische" principe van antigeluid bij een monopool puntbron.

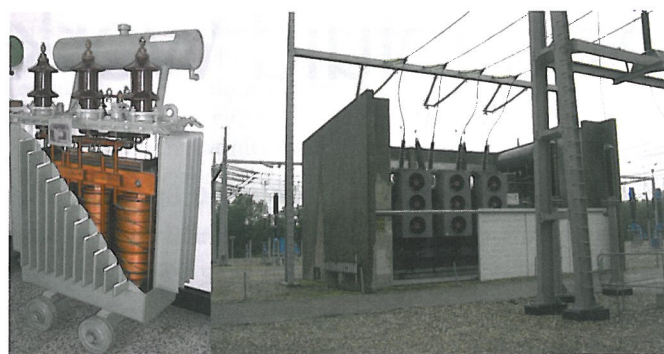
#### HET TRANSFORMATORSTATION

Het hierboven beschreven theoretische principe van antigeluid is natuurlijk leuk, maar in praktijk is geen enkele bron een pulserende bol. En dat geldt zeker voor de installaties op een transformatorstation, daar waar uiteindelijk de testopstelling moet worden gerealiseerd.

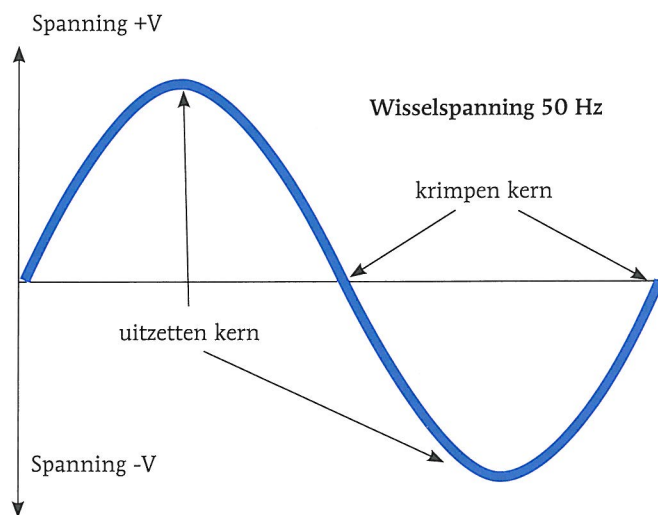
De belangrijkste installaties op deze transformatorstations zijn de transformatoren. Vaak wordt hier gebruik gemaakt van de zogenaamde driefasentransformator. Het doel van deze transformatoren is om de spanning, die bij de energiecentrales omhoog is getransformeerd om transportverliezen via de hoogspanningsleidingen zoveel mogelijk te voorkomen, op transformatorstations weer omlaag te transformeren. Bij de kleine transformatorhuisjes in woonwijken wordt de spanning vervolgens verder omlaag getransformeerd naar 230 V.

Transformatoren staan bekend om hun brommende geluid. Dit geluid wordt veroorzaakt door magnetostrictie. Simpel gezegd betekent dit dat, als een stuk metaal wordt gemagnetiseerd, het uitzet. Wanneer het magneetveld wegvalt, dan krijgt het stuk metaal weer zijn normale afmetingen terug. Nu bestaat een driefasentransformator uit drie spoelen met daarbinnen elk een metalen kern (zie figuur 2). De spoelen met kernen staan opgesteld in een stalen behuizing (formaat zeecontainer) die is gevuld met olie als koelmiddel.

Een spoel is niets meer dan een wikkeling van koperdraad waar een wisselspanning op wordt gezet. Door deze wisselspanning wordt de spoel - in Nederland met met een frequentie van 50 Hz - sinusvormig positief en negatief geladen. Door deze wisselspanning ontstaat er tweemaal per 50 Hz een magneetveld die de kern in de spoel magnetiseert. Dit betekent dat de kern met een frequentie van 100 Hz uitzet en krimpt (zie figuur 3).



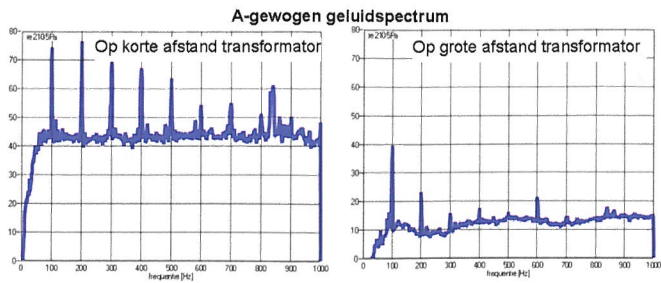
FIGUUR 2: DE DRIEFASENTRANSFORMATOR (LINKS SCHAALMODEL EN RECHTS PRAKTIJKVOORBEELD)



FIGUUR 3: PRINCIPE MAGNETOSTRICITIE

De kern van zo'n transformator bestaat uit meerdere dunne lagen metaal, die dus door de magnetostrictie trillen met een frequentie van 100 Hz. Door diverse complicaties, waaronder het verband tussen magneetveld en magnetostrictie en imperfecties in de bouwwijze van de transformator, ontstaan er ook hogere harmonischen van 100 Hz (d.w.z. 200 Hz, 300 Hz enzovoorts). De elektrische belasting van de spoel zelf veroorzaakt ook wisselkrachten, en daardoor trillingen, die echter hoofdzakelijk 100 Hz betreffen. De trillingen worden via de opstelpunten van de kernen en spoelen, alsmede door de olie, doorgegeven aan de stalen behuizing van de transformator. Deze stalen behuizing straalt uiteindelijk geluid af naar de omgeving.

Een typisch geluidsspectrum van een transformator is weergegeven in figuur 4. De figuren geven een gemeten geluidsspectrum weer op korte afstand (circa 2 meter) en op grote afstand van de transformator (circa 200 meter). Uit deze figuren valt op te maken dat dichtbij de transformator de tonen bij 100 en 200 Hz, maar ook zeker de hogere harmonischen (300 / 400 / 500 Hz) een grote rol spelen. Op grotere afstand, daar waar woningen kunnen liggen, is echter met name de 100 Hz (en in andere richtingen ook mede de 200 Hz) van belang voor het geluid in de omgeving.



FIGUUR 4: TYPISCH GELUIDSPECTRUM TRANSFORMATOR

Nu is een transformator een zeer complexe geluidbron. De behuizing van de transformator straalt niet overal evenveel geluid af en ook is de transformator niet klein ten opzichte van de golflengte van het geluid. Ergens lukraak een luidspreker plaatsen en “iets” in tegenfase aanbieden heeft dus weinig zin.

Bovendien zijn er enkele belangrijke veiligheidsaspecten waar je terdege rekening mee moet houden. Op de foto (zie figuur 2) is de transformator te zien met aan de voorzijde 9 grote ventilatoren. Deze ventilatoren zijn bedoeld om lucht aan te zuigen en hiermee de olie, die in de bak zit, te koelen. Daarom kan bijvoorbeeld de voorzijde niet volledig worden dichtgezet met een geluidsscherm, omdat er dan niet genoeg koellucht kan worden aangezogen. Ook moet de bovenzijde open blijven. Tevens zijn er beperkingen voor het meten en plaatsen van bijvoorbeeld luidsprekers, omdat je op veilige afstand moet blijven van de hoogspanningskabels in verband met elektrocutiegevaar. Dit betekent in principe dat de bovenzijde van de transformator niet bereikbaar is.

#### DE TESTOPSTELLING

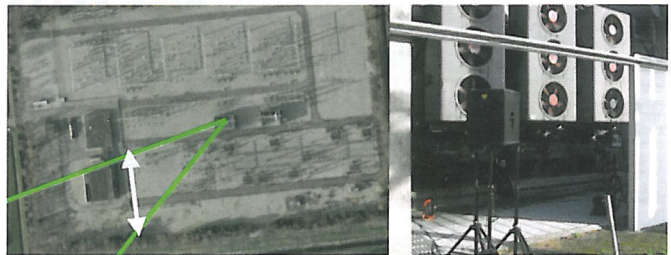
Op basis van de inventarisatie op het transformatorstation, een literatuurstudie en uitgebreide metingen aan de transformator zijn twee concepten met betrekking tot antigeluid uitgewerkt. Deze twee concepten zijn eerst getest onder laboratorium omstandigheden en vervolgens in praktijk gebracht bij de transformator in Assen. Gezien de meetresultaten op grotere afstand van de transformator, daar waar woningen kunnen liggen, is de focus van het onderzoek om het geluid bij 100 Hz zoveel mogelijk te reduceren.

Het eerste concept betreft een opstelling waarbij luidsprekers geluidstechnisch gezien in het nabijheidsveld van de transformator worden geplaatst, dus op zeer korte afstand van de behuizing (zie figuur 5). Metingen hebben namelijk laten zien dat bepaalde delen van de transformatorwand veel meer geluid afstralen in vergelijking met andere delen van de wand. Middels deze strategie wordt dus de geluidemissie van wanddelen van de transformator, die relatief veel geluid afstralen, door de luidsprekers geëlimineerd. Over het algemeen geldt dat hoe meer luidsprekers hierbij worden gebruikt, hoe groter de reductie zal zijn (omdat in dat geval meer deelvlakken worden geëlimineerd). De op deze manier behaalde reductie geldt voor alle posities rondom de transformator, en dus niet alleen in een bepaalde richting. In de testopstelling zijn vijf luidsprekers toegepast met als doel om de geluidemissie bij 100 Hz zoveel mogelijk te reduceren.

Het tweede principe betreft een luidspreker op grotere afstand van de transformator (zie figuur 6). Het doel van dit principe is om de transformator in één bepaalde richting, bijvoorbeeld in de richting van woningen, zo veel mogelijk verder te reduceren. Beide strategieën kunnen worden gecombineerd om tot een maximale reductie te komen in de gewenste richting.



FIGUUR 5: ANTIGELUID MET KLEINE LUIDSPREKERS



FIGUUR 6: ANTIGELUID MET ÉÉN GROTE LUIDSPREKER

Het actieve gedeelte van de toepassing van antigeluid bestaat uit een digitaal regelsysteem. Dit regelsysteem dient er voor te zorgen dat het antigeluid zo goed mogelijk in tegenfase en met gelijke geluidsterkte wordt aangeboden. Het antigeluid systeem bestaat dus uit meetsensoren (microfoons, trillingopnemers), actuatoren (luidsprekers) en een regelsysteem (computer). De signalen vanuit trillingsensoren en microfoons zijn de ingangssignalen voor het regelsysteem. Op basis hiervan wordt door het regelsysteem de juiste frequentie en fase bepaald en met dit signaal worden de luidsprekers aangestuurd.

#### DE RESULTATEN

Bij toepassing van vijf kleine luidsprekers op korte afstand van de vijf luidste delen van de transformator is een reductie gemeten van 3 tot 6 dB bij de bepalende frequentie van 100 Hz. Deze reductie wordt behaald in alle richtingen. En er geldt, hoe meer luidsprekers worden toegepast, hoe hoger de reductie, omdat dan meer deelvlakken van de transformatorwand worden geëlimineerd die geluid afstralen.

Met behulp van het tweede principe kan in één richting een extra reductie worden behaald van nog eens gemiddeld 5 dB. Deze reductie is gemeten op een afstand van 100 meter van de transformator, waarbij over een lengte van 50 meter op posities om de circa 3 meter is gemeten met en zonder het antigeluid (zie foto). De gemeten reducties varieerden per positie van 3 dB tot meer dan 15 dB, met dus een gemiddelde van 5 dB. Deze “stiltezone” is dus geen klein gebied wat zich beperkt tot een breedte van enkele meters, maar met behulp van de toegepaste techniek kan je stellen dat deze stiltezone een aanzienlijk oppervlak behelst waar hele percelen met woningen profijt van kunnen hebben.

#### CONCLUSIE

Het werkt! In één bepaalde richting kan, indien de twee concepten worden gecombineerd, een reductie worden behaald van ongeveer 10 dB. In het geval van de onderzochte transformator is dit ook nagenoeg de enige mogelijkheid om tot een significante reductie te komen. De testopstelling biedt uiteraard nog geen inzicht in de ro-

buustheid van een antigeluidstelsel over een langere periode (bijvoorbeeld in termen van maanden of jaren). Zo is bijvoorbeeld gebruik gemaakt van relatief goedkope luidsprekers die het na een regenbuitje wel voor gezien zullen houden. Verwacht mag echter worden dat dit bij een zorgvuldige keuze uiteindelijk geen probleem zal zijn. Zo zijn er genoeg voorbeelden te bedenken van luidsprekers die jaar in jaar uit buiten staan opgesteld.

Al met al biedt het resultaat toekomst voor antigeluid en sensor-

technologie in het algemeen. Aangetoond is dat niet alleen in theorie, maar ook in praktijk goede resultaten zijn te behalen met antigeluid.

Het project Sensor City wordt mede mogelijk gemaakt door de Europese Unie, Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling, het ministerie van EZ en het Samenwerkingsverband Noord-Nederland, KOERS NOORD



# Kluwer

## Juridische Opleidingen

### Cursusaanbod maart t/m juni 2014

Programma	Datum	Programma	Datum
<b>Vaardighedencursussen</b>		<b>Overheid</b>	
POWERjurist	3 apr	Vergunning Vrij bouwen onder de Wabo	13 mei
Formuleren van juridische teksten	13 mei	POWERambtenaar	14 mei
Opstellen van een effectieve dagvaarding	17 jun	Schorsing, disciplinaire straffen en ontslag	15 mei
		POWERraadslid <b>NIEUW</b>	17 mei
<b>Arbeidsrecht en sociale zekerheidsrecht</b>		POWERambtenaar 3 <b>NIEUW</b>	19 mei
Arbeidsrecht en insolventie <b>NIEUW</b>	27 mrt	Creatief denken	20 mei
Het nieuwe ontslagrecht <b>NIEUW</b>	10 apr	Effectief vergaderen voor ambtenaren	20 mei
Werkgeversaansprakelijkheid	6 mei	Personal Branding voor ambtenaren	5 jun
Masterclass WW, ZW, WIA <b>NIEUW</b>	15 mei	Inleiding ambtenarenrecht	12 jun
Nationaal Arbeidsrecht diner 2014	12 jun	Van perfectionist naar optimalist	17 jun
		POWERambtenaar 2	19 jun
<b>Burgerlijk procesrecht</b>		POWERraadslid <b>NIEUW</b>	21 jun
Goed beslagen - cursus beslag- en executierecht	25 mrt	POWERambtenaar	24 jun
Het civiele bewijsrecht	15 apr	POWERambtenaar 3 <b>NIEUW</b>	30 jun
Procederen bij de kantonrechter	14 mei		
Capita Selecta Beslagrecht en Buitengerechtelijke kosten	25 jun	<b>Personen- en familierecht</b>	
		Lesbisch ouderschap <b>NIEUW</b>	20 mrt
<b>Burgerlijk recht</b>		De fiscale en juridische gevolgen van het huwelijksvermogensrecht	3 apr
Internationaal contracteren	15 apr	Executele in theorie en praktijk	9 apr
Actualiteiten letselschade	13 mei	Masterclass Verdelen door de rechter	16 apr
Actualiteiten contractenrecht	20 mei	Nieuwe richtlijn kinderalimentatie, een jaar na de invoering, wat nu? <b>NIEUW</b>	22 apr
Commerciële contracten opstellen en beoordelen <b>NIEUW</b>	27 mei	Schenking <b>NIEUW</b>	12 mei
Tenietgaan van vorderingsrechten <b>NIEUW</b>	27 mei	De oudere in het familierecht <b>NIEUW</b>	14 mei
De vaststellingsovereenkomst en bindend advies <b>NIEUW</b>	12 jun	Alimentatierekenen op basis van kasstromen <b>NIEUW</b>	15 mei
		Erfrechtconflicten <b>NIEUW</b>	20 mei
<b>IE- / ICT-recht</b>		Actualiteiten alimentatierecht	22 mei
Juridische aspecten van IT-security	20 mrt	Inleiding Erfrecht voor niet-juristen <b>NIEUW</b>	22 mei
Benelux Merken Congres	10 apr	Transitie jeugdzorg voor gemeenteambtenaren <b>NIEUW</b>	27 mei
Licentiecontracten	5 jun	Fiscale actualiteiten voor de familierechtpraktijk <b>NIEUW</b>	4 jun
		Transitie jeugdzorg voor gemeenteambtenaren <b>NIEUW</b>	17 jun
<b>Ondernemingspraktijk</b>		De ondernemer en echtscheiding <b>NIEUW</b>	18 jun
Compliance en integriteit <b>NIEUW</b>	30 jan en 6 mrt	Transitie jeugdzorg voor gemeenteambtenaren <b>NIEUW</b>	26 jun
De grenzen van samenwerken en concurreren <b>NIEUW</b>	13 feb		
Actuele ontwikkelingen governance en aansprakelijkheid <b>NIEUW</b>	14 mrt	<b>Strafrecht</b>	
		De onderneming als verdachte	20 mrt
<b>Overheid</b>		Straf- en civielrechtelijke jeugdmaatregelen	8 apr
POWERambtenaar	25 mrt	Actualiteiten strafrecht <b>NIEUW</b>	8 mei
Actualiteiten Ambtenarenrecht	27 mrt	Masterclass jeugdstrafrecht <b>NIEUW</b>	3 jun
Snel en effectief lezen voor ambtenaren	27 mrt		
POWERambtenaar 2	2 apr	<b>Vastgoedrecht</b>	
Effectief beïnvloeden een schot in de roos	8 apr	Procederen in het huurrecht <b>NIEUW</b>	20 mei
Effectiever functioneren binnen de overheid	8 apr	Aanbestedingswet 2012	3 jun
Introductie in de wet RO	8 apr	Actualiteiten pachtrecht	18 jun
Anterieure overeenkomsten	17 apr		
Mindmappen voor ambtenaren	17 apr		
Omgaan met verandering	6 mei		
Timemanagement voor ambtenaren	13 mei		