

# Meer geluid trafostations

## Elektrificatie maakt niet alles stiller?

**Elektrificatie maakt dat het Nederlandse elektriciteitsnet anders moet worden ingericht met meer capaciteit.  
Het geluid van transformatorstations zal hierdoor toenemen.**

Door: Gert Lassche en Guido van Leemput

### Over de auteurs:

G.W. Lassche en G.R.M. van Leemput werken bij Peutz bv, afdeling Industrie.

### 1 INLEIDING

Vanwege het klimaat en aardbevingen door de gaswinning gaat Nederland versneld over naar andere energiebronnen. Het Nederlandse aardgas en het gebruik van steenkolen wordt in de ban gedaan. Het aandeel van alternatieve, duurzame energiebronnen neemt sterk toe, met name windturbines, zonne-energie, (kleinschalige) biomassa-centrales en geothermie (aardwarmte). Deels zal deze energie in de vorm van warmte geleverd worden (biomassa en geothermie), met korte afstanden tot de eindgebruiker.

Het grootste deel van de energie zal in de vorm van elektriciteit naar de eindgebruikers worden getransporteerd. Elektriciteit neemt de rol van aardgas als energiedrager grotendeels over. Dit vergt uitbreiding van de capaciteit van het elektriciteitsnet. Daarbij verandert het aanbod van de energie sterk. Tot voor kort was sprake van voornamelijk grootschalige energieopwekking op enkele locaties in Nederland. Inmiddels is het aandeel van kleinschaliger opwekking significant toegenomen en deze ontwikkeling zet zich verder door. Op meerdere plaatsen zal het elektriciteitsnet gevoed moeten worden, dit met waarborgen voor de kwaliteit van de elektriciteitslevering.

In dit artikel wordt ingegaan op de consequenties van deze veranderingen voor het geluid van transformatorstations. In een eerder artikel is reeds in bredere zin ingegaan op de effecten van de energietransitie op het omgevingsgeluid<sup>1</sup>.

### 2 ELEKTRICITEITSNET EN TRANSFORMATORSTATIONS

Nederland heeft een uitgebreid en kwalitatief hoogwaardig elektriciteitsnet. TenneT is netbeheerder van het hoofdnet met spanningsniveaus variërend van 110 kV tot 380 kV. Ook wordt elektriciteit geïmporteerd uit Denemarken, Noorwegen en Groot-Brittannië op een spanningsniveau van 450 kV. De regionale netbeheerders (zoals Enexis, Stedin, Liander en Enduris) zorgen vervolgens voor de aansluiting naar de eindgebruikers op lagere spanningsniveaus (50 kV en lager).

Het transport vindt plaats via de hoogspanningslijnen of ondergrondse leidingen. De koppeling tussen de verschillende netten met de omzetting van de spanningen gebeurt in de transformatorstations in één of meerdere stappen.



FIGUUR 1: HET HOOGSPANNINGSNET OPGENOMEN IN HET STRAATBEELD

### Gelijkspanning versus wisselspanning

Wereldwijd en dus ook in Nederland is wisselstroom de norm voor het elektriciteitsnet. Regelmatig wordt onderzocht of gelijkspanning/gelijkstroom een goed alternatief is omdat gelijkstroom voordelen lijkt te hebben boven wisselstroom. Zonnepanelen en windturbines leveren gelijkstroom en een deel van huishoudelijke apparaten werkt op gelijkstroom. Ook het transport over het grote afstanden (waaronder de aansluiting van windparken op zee en het importeren uit/naar bijvoorbeeld Groot-Brittannië en Scandinavië) gaat met gelijkstroom.

Hoewel omschakeling naar gelijkstroom voorlopig niet aan de orde is, heeft dat grote consequenties voor de inrichting van transformatorstations en daarmee het geluid.



FIGUUR 2: EEN TYPISCHE TRANSFORMATOROPSTELLING TUSSEN SCHERFMUREN MET KOELERS BUITEN DE SCHERFMUREN



FIGUUR 3: EEN TYPISCHE TRANSFORMATOROPSTELLING MET IN- EN UITGAANDE LIJNEN



FIGUUR 4: EEN SCHAKELVELD MET LIJNVELDEN EN VERMOGENSSCHAKELAARS



FIGUUR 5: EEN FILTERBANK

Daarnaast kunnen condensatorbanken, filterbanken, spoelen en converters onderdeel uitmaken van het station. Deze componenten zijn noodzakelijk om de kwaliteit van de stroom te verhogen, energieverliezen te compenseren of gelijkstroom om te zetten in wisselstroom (of andersom). Deze installaties produceren volcontinu geluid.

Componenten worden onderling gekoppeld in het schakelveld. Met vermogensschakelaars wordt tussen verschillende lijnen geschakeld en componenten aan of van het elektriciteitsnet gekoppeld. Deze vermogensschakelaars in het schakelveld of in een schakelgebouw produceren alleen kortstondig (minder dan 1 s) geluid tijdens het schakelen. Dit vindt enkele malen per jaar plaats bij onderhoud aan de componenten of calamiteiten (storingen).

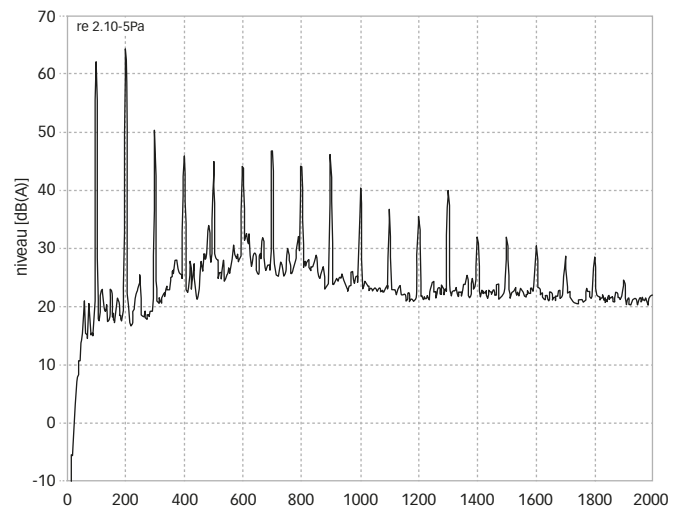
Daarnaast kan sprake zijn van één of meerdere noodstroomaggregaten om bij uitval van installaties te kunnen ingrijpen. Hoewel normaal buiten bedrijf, worden deze wel regelmatig getest.

### Waarom spanningstransformatie?

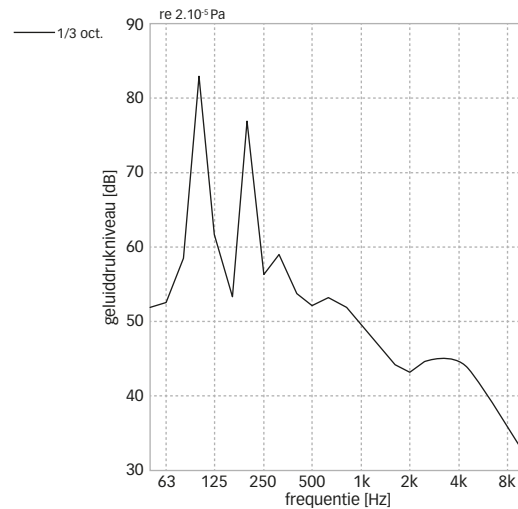
Om de energieverliezen tijdens transport te beperken, wordt de spanning zo hoog mogelijk gehouden (bijvoorbeeld 380 kV). Voor de eindgebruiker is een lagere spanning (voor huishoudens 230 V) noodzakelijk. Om de eindgebruiker aan het elektriciteitsnet te koppelen wordt de spanning getransformeerd. Door de spanningstransformatie transformeert ook de stroomsterkte daar de totale hoeveelheid energie (vermogen) niet verandert. Een hogere spanning leidt tot een lagere stroomsterkte (vermogen = spanning x stroomsterkte:  $W = U \cdot I$ ).

### 3 TRANSFORMATORGELUID

Transformatoren maken een sterk brommend geluid door magnetostrictie (het inkrimpen en uitzetten van de magneetkern door het wisselende magnetische veld). Hierdoor treden trillingen op die zich manifesteren als geluid. Vanwege de netfrequentie van 50 Hz treden geluidspieken op bij 100 Hz en hogere harmonischen (200 Hz, 300 Hz enzovoort).



FIGUUR 6: VOORBEELD VAN EEN SMALBANDIG SPECTRUM TRANSFORMATORGELUID MET PIEKEN BIJ 100 HZ EN HOGERE HARMONISCHEN



FIGUUR 7: VOORBEELD VAN EEN SPECTRALE VERDELING TRANSFORMATORGELUID IN TERTSBANDEN

Bij de transformatoren in het landelijke net (110 kV en hoger) zijn de geluidspieken bij 100 en 200 Hz meestal bepalend voor de geluidsniveaus in de omgeving, vooral op grotere afstanden. Bij de transformatorstations in regionale netten kunnen de geluidsniveaus bij 300, 400 en 500 Hz ook nog een belangrijke rol spelen. Door de specifieke eigenschappen van het transformatorgeluid is het meten en rekenen complexer dan bij 'normale' geluid-

bronnen met een breedbandig geluid. Door de sterke dominantie van de geluidpieken bij 100 Hz en hogere harmonischen kunnen 'staande-golf'-patronen ontstaan door interferentie van geluidgolven; in de omgeving ontstaan dan plaatsen met hoge of lage geluidniveaus. Op grotere afstand van het transformatorstation kunnen daardoor hogere geluidniveaus optreden dan dichterbij.

Dit interferentiepatroon wordt sterk beïnvloed door objecten (gebouwen, schermen) in de omgeving van het transformatorstation en bodemeffecten. Het rekenen conform de HMRI 1999<sup>2</sup> leidt niet altijd tot de juiste resultaten.

Voor de bepaling van de geluidbronsterkte is het raadzaam meerdere methoden te hanteren, waaronder ook de meetmethode volgens de internationale meetnorm voor transformatoren<sup>3</sup> (zie ook het tekstkader). Dit is noodzakelijk omdat geen metingen verricht kunnen worden aan de bovenzijde van de transformatoren (om veiligheidstechnische redenen) terwijl de geluidemissie hiervan niet verwaarloosbaar is. Bepaling van de geluidbronsterkten volgens de methoden II.2 ('Geconcentreerde bronmethode') en II.3 ('Aangepast meetvlakmethode') van HMRI 1999 heeft soms duidelijke beperkingen.

#### IEC 60076-10<sup>3</sup>

De meetnorm IEC 60076-10 wordt gebruikt bij de nalevingscontrole van geluidgaranties. In 2016 is een nieuwe versie van deze norm verschenen waarbij een andere standaard meetafstand wordt gehanteerd (1 m i.p.v. 0,3 m afstand).

De geluidniveaus van transformatoren, zeker de grote exemplaren, kunnen niet in de fabriek representatief worden getest, te weten: volledig op spanning en volledig belast.

Daarom worden geluidgaranties afgegeven onder verschillende condities die wel mogelijk zijn in de fabriek, te weten bij 100% of 105% van de nominale spanning ( $U_n$ ) zonder belasting ('geen stroom') respectievelijk spanningsloos met 100% belasting ( $I_n$ ) en eventueel nog enkele deelbelastingen. De geluidemissie onder representatieve omstandigheden wordt afgeleid uit deze gegevens.

Bij de bepaling van de geluidbronsterkte volgens de IEC-norm wordt rekening gehouden met de geluiduitstraling aan de bovenzijde uitgaande van een empirisch relatie tussen de geluidemissie via de zijanten en de bovenzijde.

Door geluidmetingen bij de bron (de transformatoren) te combineren met metingen in de omgeving kan een rekenmodel worden opgesteld voor de berekening van de geluidoverdracht volgens methode II.8 ('Overdrachtsmodel', HMRI 1999).

Voor een goede analyse zijn tertsbandanalyses of smalbandige geluidanalyses (bijvoorbeeld FFT) noodzakelijk.

De gevelreflectie kan bovendien tot 6 dB bedragen terwijl volgens HMRI 1999 de gevelcorrectieterm ( $C_g$ ) standaard gelijk is aan 3 dB.

Overigens bestaat er zelden discussie over dat het geluid van transformatoren tonaal van karakter is, met een toeslag ( $K_1$ ) van 5 dB (overigens niet bij een toets aan de zonegrens).

Geluid van transformatoren treedt continu op (24/7), mede afhankelijk van stroomsterkte en dus de belasting.

Verder kunnen koelventilatoren een rol spelen voor een goede werking en verlenging van de levensduur. Ook kan hiermee het elektrische vermogen worden opgevaardeerd. Deze ventilatoren

zijn meestal alleen in de dag- en de avondperiode in bedrijf vanwege de hoogste temperaturen en de hoogste belastingen in die perioden.

Het geluid van condensator- en filterbanken, spoelen en converters is qua aard vergelijkbaar met transformatorgeluid met soms een sterke richtingsafhankelijkheid.

#### 4 VERANDERINGEN IN HET ELEKTRICITEITSNET

Decentralisatie van de elektriciteitsopwekking vindt plaats, met meer windturbines en zonneparken. Netbeheerders zijn verplicht deze opwekkers aan te sluiten op het elektriciteitsnet. De beschikbare netcapaciteit is in grote delen van het land echter nog te klein.

De vraag naar elektriciteit is toegenomen en neemt in de toekomst nog verder toe. Verbrandingsmotoren worden vervangen door elektromotoren (bij voertuigen maar ook in de industrie) en door woningen gasloos te maken is de vraag naar elektrisch aangedreven warmtepompen en elektrisch koken sterk toegenomen.

Daarbij verandert het belastingspatroon van het elektriciteitsnet sterk en wordt minder voorspelbaar. Zonneparken leveren overdag bij voldoende zon. Windturbines leveren gedurende het gehele etmaal, afhankelijk van de windcondities. Bij windstil weer zonder zon is er geen aanbod van deze energiebronnen (de zogenaamde 'Dunkelflaute'), dus kan geen garantie op levering worden gegeven.

Het veranderde aanbod leidt ook tot een andere kwaliteit van de elektriciteitslevering. Om een goede kwaliteit (stroomsterkte, spanning en faseverschillen) te kunnen garanderen moeten naast meer transformatoren ook filterbanken, condensatorbanken en spoelen bijgeplaatst worden.

#### 5 GEVOLGEN ZWAARDERE BELASTING ELEKTRICITEITSNET EN CAPACITEITSVERHOOGING

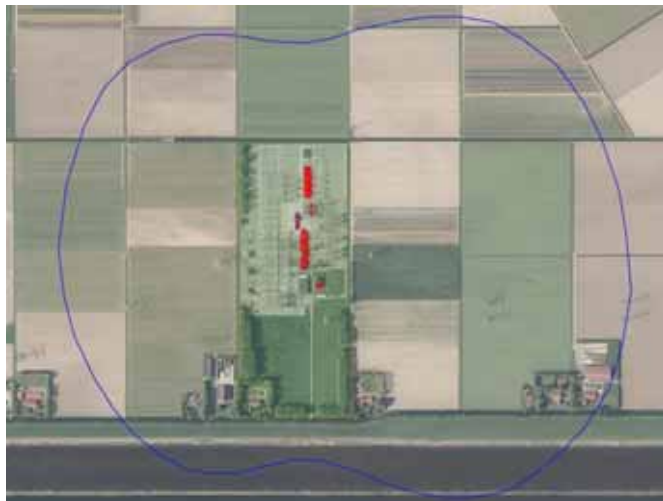
Het elektriciteitsnet is ontworpen met enige marge op de capaciteit om toename van de belasting te kunnen opvangen. De transportlijnen en transformatoren zullen dan bij toename zwaarder worden belast waardoor de transformatoren meer geluid zullen produceren. De daadwerkelijke toename van het geluid is sterk afhankelijk van het fabricaat en het type. Het nullastgeluid (het geluid dat optreedt bij nominale spanning van de transformator waarbij de stroomsterkte nihil is;  $100\% U_n / 0\% I_n$ ) is onafhankelijk van de belasting. Het lastgeluid neemt toe afhankelijk van de belasting. Deze toename kan 9 dB bedragen. De toename van de totale geluidproductie van de transformator zal minder zijn dan deze 9 dB, maar is sterk afhankelijk van de verhouding tussen nullastgeluid en lastgeluid. Als nullastgeluid bepalend is voor de totale geluidproductie dan is de toename van het geluid als gevolg van een toename van de belasting relatief gering. Is echter het lastgeluid maatgevend dan kan de toename van het geluid significant zijn. De verhouding tussen lastgeluid en nullastgeluid is afhankelijk van de functie van de transformator en het fabricaat/type.

Door de toename van de belasting kan de geluidemissie van transformatorstations waarneembaar toenemen. Op deze autonome ontwikkeling heeft de netbeheerder weinig invloed. De toename van de belasting kan zo groot worden dat een uitbreiding van het aantal transformatoren of het vervangen door transformatoren met een hoger vermogen noodzakelijk is. Dit kan leiden tot een (sterke) toename van het geluid. Dit kan deels worden opgevangen door bijplaatsing van nieuwe transformatoren met een lagere geluidproductie. Dit heeft effect in situaties

met zeer oude transformatoren (50 jaar of ouder is geen zeldzaamheid).

Transformatoren die economisch nog niet zijn afgeschreven maar wel een te lage capaciteit hebben, kunnen op andere stations worden geplaatst (uitruil van transformatoren). In die gevallen zal de 'geluidwinst' geringer zijn.

Een bijkomend effect van het vergroten van de capaciteit van transformatoren kan zijn dat het buiten opgestelde, gelijktijdig in te schakelen vermogen meer dan 200 MVA zal bedragen. Het transformatorstation wordt dan een zogenaamde "grote lawaai-maker", waardoor een gezonde industrieterrein aangewezen moet worden en er een geluidzone aanwezig moet zijn.



FIGUUR 8: VOORBEELD GELUIDZONE VAN EEN TRANSFORMATORSTATION MET DE TYPISCHE 'VLINDERVORM'

## 6 ONTWIKKELINGEN IN DE OMGEVING

Gemeenten en ontwikkelaars hebben een opgave in de woningbouw. In stedelijke gebieden worden open plekken opgevuld en worden bedrijfsbestemmingen gewijzigd in woonbestemming of andere geluidgevoelige bestemmingen. Woningbouw wordt regelmatig gepland op korte afstand van (en soms direct aangrenzend aan) transformatorstations.

In stedelijke gebieden zijn transformatoren vaak geplaatst binnen vierzijdige cellen waarvan de bovenzijde open is. Op maaiveldniveau zijn dan de geluidniveaus vaak beperkt. Op grotere hoogten is wel sprake van relatief hoge geluidniveaus. Bij hoogbouwplannen is dan ook eerder sprake van knellende situaties.

In buitenstedelijke gebieden wordt soms ook op kortere afstand van transformatorstations gebouwd. Door de lagere achtergrondgeluidniveaus aldaar en juist de aanwezige tonaliteit is dan ook vaak sprake van onwenselijke situaties.

Door woningbouw in grotere aantallen en voorzien van zonnepanelen en warmtepompen neemt de belasting van het transformatorstation toe, met een groter risico op geluidhinder.

De vraag is dan in hoeverre nog sprake is van een aanvaardbaar woon- en leefklimaat en of het mogelijk is om met maatregelen aan zowel de geprojecteerde woningen, de transformatorstations en eventuele overdrachtsmaatregelen de geluidniveaus afdoende te beperken.

## 7 MOGELIJKHEDEN VOOR GELUIDREDUCTIE

Voor nieuwe transformatoren gelden strenge geluidseisen voor fabrikanten/leveranciers. In de loop der jaren is de geluidproductie van transformatoren gedaald.

De technische levensduur van transformatoren is echter zeer groot. Maatregelen aan de transformatorbak zelf kunnen om (veiligheids-)technische redenen zelden worden toegepast. In bestaande situaties komen daarom geluidschermen in beeld.

Bij transformatorstations zijn vaak direct naast de transformatoren (betonnen) scherfmuren geplaatst om te voorkomen dat bij schade aan één van de transformatoren de andere componenten op het hoogspanningsstation ook beschadigd worden waardoor een mogelijk domino-effect kan optreden. Deze scherfmuren zorgen ook voor een effectieve afscherming van geluid, echter in slechts enkele richtingen. De plaats van de scherfmuren wordt bepaald door de richting van de hoogspanningslijnen en de oriëntatie van de transformatoren, en worden vaak aan twee of hooguit drie zijden van de transformatoren geplaatst. Om in de onafgeschermd richting de geluidniveaus te beperken, kunnen de scherfmuren aan de binnenzijde worden voorzien van een geluidabsorberende bekleding. Door het specifieke karakter van het transformatorgeluid kan hierbij niet worden volstaan met de standaardoplossingen daar deze het geluid bij 100 Hz (met een golflengte van circa 3,4 m) onvoldoende absorberen.

Met schermen kunnen ook vierzijdige cellen worden gecreëerd, waarmee het geluid via de bovenzijde wordt uitgestraald. Op korte afstand van de transformator heeft dit effect, echter niet op grotere afstand en op grotere hoogte (hoogbouw).

Het is mogelijk transformatoren geheel in te bouwen dus ook aan de bovenzijde gesloten. Dit zijn echter zeer ingrijpende operaties vanwege de aan- en afvoerlijnen (risico op kortsluiting) en de beperking voor ventilatie en koeling. Inbouwen betekent ook dat de bestaande transformatoren zelf aangepast moeten worden. Vaak is het hierdoor niet mogelijk de transformatoren geheel in te bouwen of zijn de kosten onevenredig hoog.

Altijd moet rekening gehouden worden met veiligheid (kortsluiting), onderhoud (toegankelijkheid), uitwisselbaarheid (transformatoren moeten in geval van storing snel kunnen worden vervangen) en de koeling/ventilatie. Deze leggen extra beperkingen op aan de mogelijkheden voor geluidreducerende maatregelen.

Het is in theorie mogelijk om antigeluid toe te passen. In de praktijk is dit nog niet met succes toegepast bij de grotere transformatorstations. Wel zijn er veelbelovende testen uitgevoerd<sup>4</sup> maar extra validatie in meerdere situaties is noodzakelijk.

## 8 CONCLUSIE

Door de energietransitie stijgt zowel het aanbod van als de vraag naar elektriciteit. Hierdoor zal het elektriciteitsnet in de komende tijd ingrijpend wijzigen. Dit heeft gevolgen voor de geluidniveaus vanwege transformatorstations.

Vanwege de toename van het geluid van transformatorstations, in combinatie met toenemende woningbouw, neemt de noodzaak van geluidreducerende voorzieningen toe. Vanwege het specifieke karakter van transformatorgeluid en de veiligheids- en onderhoudstechnische eisen kan niet volstaan worden met 'standaardoplossingen'.

## REFERENTIES

1. "Energietransitie en geluid", Geluid 2, juni 2019, E.H.A. de Beer, L.M. Eilders, J.H. Granneman, G.W. Lassche
2. "Handleiding meten en rekenen industriellawaai" (HMRI 1999)
3. IEC 60076-10 "Power transformers – Part 10: Determination of sound levels"
4. "Antigeluid werkt!", Geluid 1, maart 2014, H. Buikema, F.D. van der Ploeg