

Observaties uit metingen in het Urban Comfort Lab

Geluidsadaptief bouwen voor luchtvaart

Bij het ontwerp van nieuwe woonwijken in de randstad zal luchtvaart steeds vaker een rol spelen. In het Urban Comfort Lab worden metingen in een één-op-één model uitgevoerd aan verschillende bebouwingsvormen, materialisatie van woningen en inrichtingen van het binnengebied. De resultaten van een jaar continue meten geven interessante inzichten en bieden perspectief voor ontwikkeling.

Door Martijn Lugten en Theodoor Höngens

Over de auteurs:

Dr. ir. Martijn Lugten is werkzaam als onderzoeker en projectleider bij de TU Delft en het AMS institute.

Ir. Theodoor Höngens is senior adviseur / directeur bij M+P en adviseert ontwikkelaars en gemeenten bij bouwplannen in complexe omgevingen.

Inleiding

Vliegtuiggeluid is sinds de opkomst van de straalmotoren en civiele luchtvaart een belangrijk thema in discussies rond luchthavens. Om burgers te beschermen tegen vliegtuiggeluid is sinds de jaren 60 wet- en regelgeving opgetuigd. Dit heeft grote consequenties gehad voor de ontwikkeling van de omgeving rond luchthavens, met name rond Schiphol. In Nederland worden in luchthavenin-delingsbesluiten (LIB) beperkingengebieden aangewezen op basis van geluidsniveaus en veiligheidsrisico's. Geluidsniveaus worden daarbij berekend, op basis van het toegestane baangebruik of historische gegevens. Anders dan bij weg- en spoorlawaai laten rekenmodellen voor luchtvaartgeluid de fysieke (gebouwde) omgeving buiten beschouwing. Dit heeft als gevolg dat contourlijnen op kaart- of satellietbeelden vaak dwars door gebouwen snijden zonder rekening te houden met (bijvoorbeeld) afschermingseffecten. Afscherming van gebouwen zou immers geen rol spelen op de geluidsniveaus 'op de grond'. Omdat een duidelijke onderbouwing voor deze aanname ontbrak werd acht jaar geleden een onderzoeksproject opgetuigd, eerst met een promotieplek[1], en later binnen het Urban Comfort Lab. Tijdens het promotieonderzoek is een eerste stap gezet om aan de hand van metingen en simulatiemodellen de invloed van gebouwen op vliegtuiggeluid te bepalen. De casestudies lieten zien dat ook bij vliegtuiggeluid gebouwen een afschermend effect hebben en dat de vormgeving van de gebouwen daarbij een belangrijke rol speelt. Door de kleine omvang van de meetgegevens, en de onzekerheden rond de nauwkeurigheid van rekenmodellen, ontstond in 2019 het idee om voor langere tijd geluidsmetingen uit te voeren in een semi-gestuurde omgeving.

Field lab: een stedelijk laboratorium

Om een goed beeld te krijgen van de langjarige-effecten van bebouwing op vliegtuiggeluid, is in 2021 een 1-op-1 field lab

gebouwd in de buurt van de Kaagbaan in Hoofddorp. In het field lab is met 120 zeecontainers een kleine woonwijk met drie hoven nagebouwd met elk een andere vormgeving. Het field lab wordt gecoördineerd door de TU Delft, en het aan de TU Delft en Wageningen Universiteit gelieerde Amsterdam Institute for Advanced Metropolitan Solutions (AMS Institute). Het lab biedt ook de mogelijkheid aan bedrijven en andere kennisinstellingen om metingen uit te voeren. Het afgelopen jaar hebben onderzoekers van de TU Delft samengewerkt met M+P bij metingen en data-analyse.



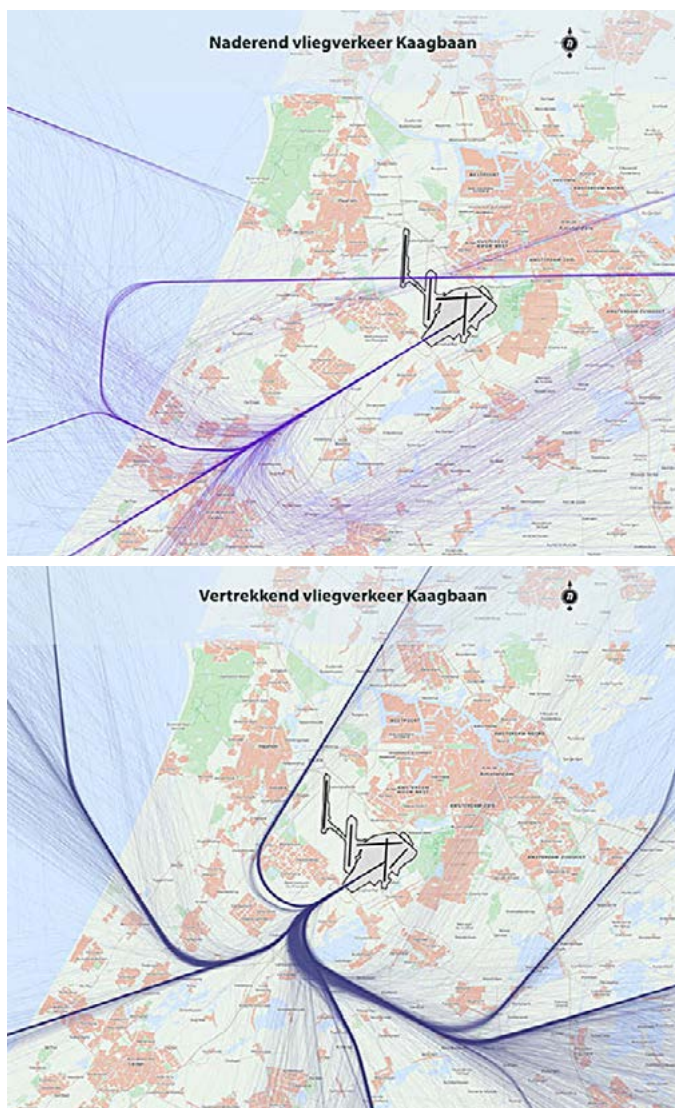
Figuur 1 Luchtfoto van het field lab.



Figuur 2 één van de drie hoven van het field lab.

In het lab wordt gekeken naar de invloed van gebouwvormen, zoals schuine wanden en veranda-achtige uitkragingen. Ondanks de verschillen tussen de staalwanden van de containers en 'echte' gevels van glas en steen, geven de metingen in het field lab een goed beeld van het gedrag van geluid rondom 'ruimtelijke objecten' zoals gebouwen. Naast geluidsmetingen staan op meerdere plekken weer- en luchtkwaliteitssensoren voor onderzoek naar hittestress en luchtkwaliteit.

De afstand tussen vliegtuigen en de 'ontvanger' is groot. Daarmee spelen weersinvloeden zoals temperatuur en wind een niet-verwaarloosbare rol. Door geluidsmetingen te koppelen aan de weerstations, vlucht- en radargegevens, kan de variatie in de geluidsmetingen tussen en rond de 'gebouwen' worden gekoppeld aan (combinaties van) variabelen zoals weer, vlieghoogte, afstand of het vliegtuigtype.



Figuur 3 Vliegpaden van landend en vertrekkend vliegverkeer van de Kaagbaan (jaargemiddelden).

Verskillende invalshoek

Bij geluid is de invalshoek een belangrijke parameter. En zeker voor luchtvaart is die relevant. Bij het spoor en de weg is de route die voertuigen afleggen bekend, zowel in het horizontale vlak als in het verticale vlak. Bij luchtvaart is dat veel minder het geval. Vliegtuigen hebben een corridor waarbinnen wordt gevlogen. Dichter bij de landings- of startbaan wordt deze

corridor uiteraard steeds kleiner. In figuur 3 zijn de vliegpaden zichtbaar gemaakt van de Kaagbaan voor zowel aankomend als vertrekkend vliegverkeer. Daarbij moet worden bedacht dat de vertrekkende vliegtuigen al snel een grote hoogte bereiken en de dalende vliegtuigen lager vliegen. Het lab is gelegen in een omgeving met zowel opstijgende als landende vliegtuigen ten oosten van de meetlocatie. Deze vliegen meestal binnen een relatief smalle corridor (figuur 4). De vlieghoogte varieert aanzienlijk, met name voor opstijgende vliegtuigen.

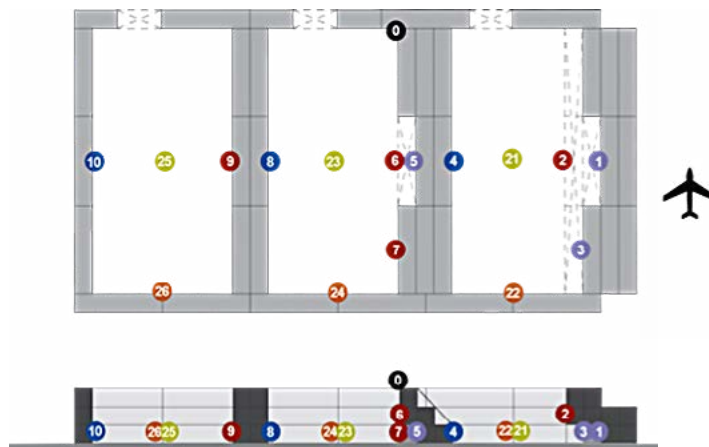


Figuur 4 Ligging van het lab (oranje rechthoek) t.o.v. van uit- en aanvliegroutes voor de Kaagbaan. De blauwe lijnen zijn de grondpaden van vliegtuigpassages op 1 maart 2022.

Van contour naar woonwijk

De invloed van de verschillende maatregelen en situering van posities in het lab is met 16 microfoonposities bepaald. Daarnaast is een referentiemicrofoon geplaatst, die boven het hof uitsteekt, zodat de metingen gerelateerd kunnen worden aan het geluid met zo min mogelijk invloed van afscherming of reflectie. Met een combinatie van de verschillen in relatie tot de referentie wordt beoogd om een uitspraak te kunnen doen over het te verwachten geluidsniveau op verschillende posities. De bestaande geluidscontouren kunnen daarbij als basis dienen.

De metingen van TU Delft zijn continu uitgevoerd. Die van M+P hebben plaatsgevonden gedurende de zomer van 2022 van 19 augustus tot en met 19 september, waarbij 8.650 vluchten (3.301 starts en 5.349 landingen) zijn betrokken in de analyse. Van de metingen zijn de geluidsniveaus per seconde opgeslagen en later geanalyseerd.



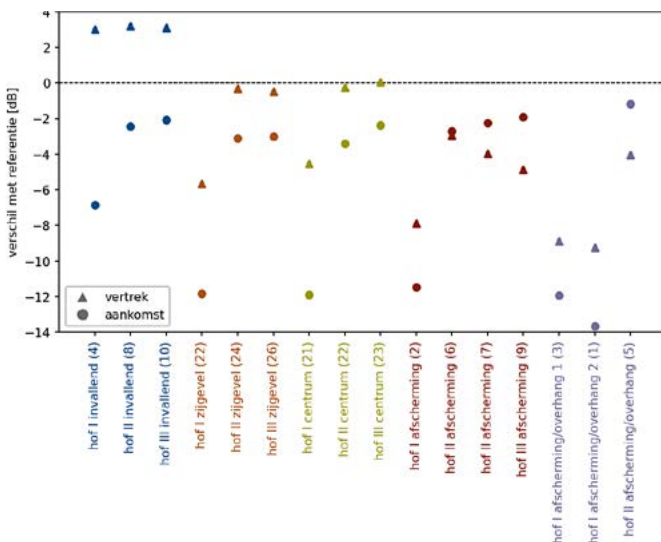
Figuur 5 Bovenaanzicht en doorsnede met de posities van de microfoons.

Voor de analyse is op basis van de vluchtgegevens uit het radarsysteem van Schiphol (Casper) het tijdstip bepaald dat een vertrekkend of landend vliegtuig het field lab passeert. Vervolgens is het tijdstip bepaald van de hoogste A-gewogen waarde en aan de hand daarvan het interval tot -10 dB afval. Van het interval zijn de SEL-waarden bepaald van het totale A-gewogen geluidsniveau en individuele tertsbanden. Deze SEL-waarden zijn gebruikt voor verdere analyse.

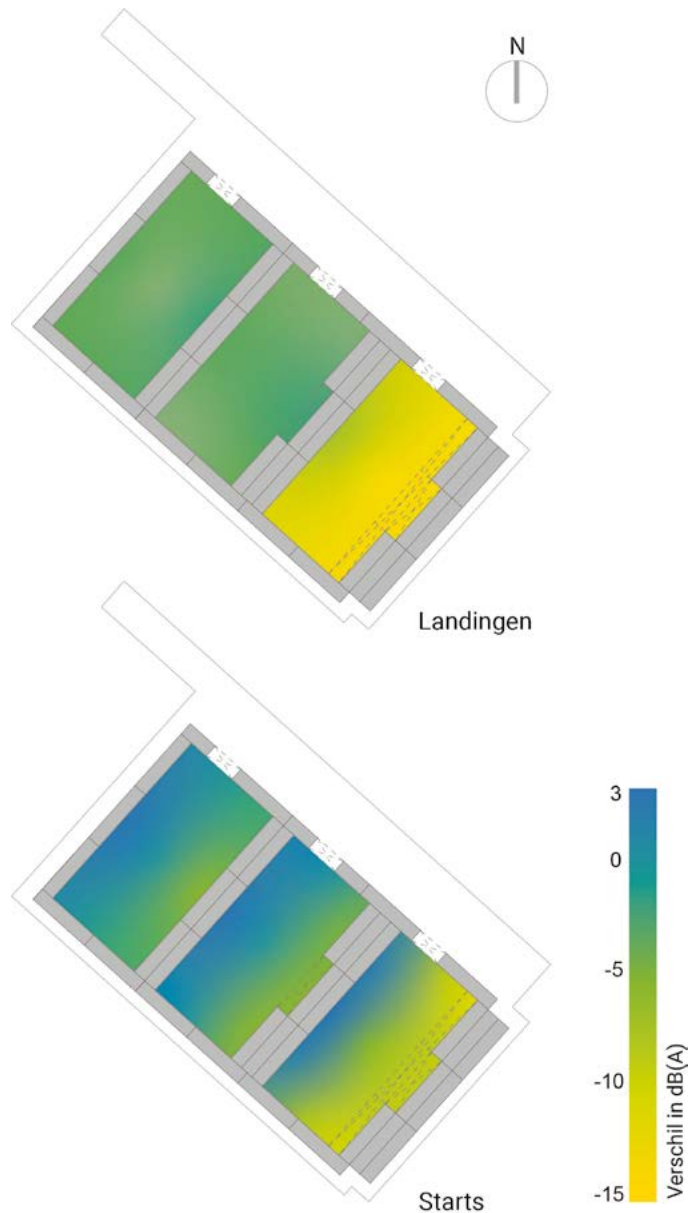
Alle meetwaarden zijn verder zonder correcties doorgevoerd, uitgezonderd de referentie. Deze is bovendaks geplaatst en ondervindt een reflectie vanwege het dak van de containers. Daarvoor is gecorrigeerd, om de resultaten later te kunnen relateren aan een contourwaarde. Voor het bepalen van de contourwaarde wordt in de berekeningen uitgegaan van een vrij oppervlak zonder reflecties van objecten zoals gebouwen inclusief bodemreflecties. De aangehouden correctie voor de referentie is 2 dB voor de vertrekkende vluchten vanwege het dakvlak van de containers. Bij de aankomende vluchten is niet gecorrigeerd, vanwege de scherpe invalshoek en beperkt dakoppervlak, waardoor er niet/nauwelijks reflectie is te verwachten.

De invloed is groot

De grafiek in Figuur 6 toont de gemiddelde SEL-waarden per meetpunt afgezet tegen de referentiemicrofoon op het dak. De grafiek maakt daarbij onderscheid tussen landende en opstijgende vliegtuigpassages. Afhankelijk van het hof is het geluidsniveau rond gevels zonder een directe zichtlijn naar de vliegpaden tussen de 1 dB(A) en 14 dB(A) lager dan de referentiemicrofoon voor landingen. Voor opstijgende vliegtuigen zijn de niveaus tussen de 3 dB(A) hoger en 9 dB(A) lager dan de referentie. In Figuur 7 zijn de verschillen grafisch weergegeven. Op basis van de relatieve geluidsniveaus per meetpositie ten opzichte van de referentiemicrofoon is een lineaire interpolatie gemaakt om voor elke willekeurige positie in de hoven een schatting te maken van de gemiddelde SEL-waarden.



Figuur 6 Niveaoverschillen tussen de referentiemicrofoon (0) en microfoons in de hoven op basis van A-gewogen SEL-waarden.



Figuur 7 Gemiddelde geluidsniveaus in de hoven (SEL-waarden) voor landende en opstijgende vliegtuigen ten opzichte van de referentiemicrofoon.

De resultaten laten zien dat er binnen in de hoven verschillen tot 14-15 dB(A) zijn tussen gevels met en zonder een directe zichtlijn tot de vliegpaden. De resultaten laten ook goed zien dat de vormgeving van de hoven een grote invloed heeft op de geluidsniveaus. De grootste verschillen ten opzichte van de referentiemicrofoon zijn gemeten in de hof met de 'schuine' gevel. Het schuine vlak weerkaatst een groot deel van het invallende en het hof gereflecteerde geluid naar boven, het hof uit, met lagere geluidsniveaus in het hof tot gevolg.

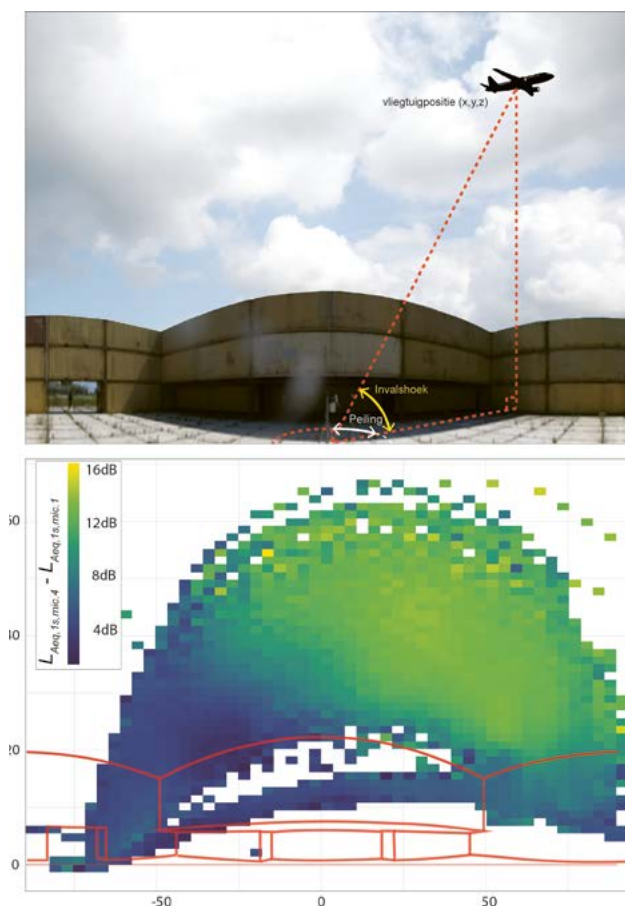
Op basis van de gegevens in Figuur 6 en Figuur 7 kunnen twee conclusies worden getrokken. Enerzijds laten de resultaten zien dat gebouwen een grote invloed hebben op vliegtuigeluid op maaiveldniveau. Anderzijds kan worden opgemaakt uit de resultaten dat de geluidsafscherming wordt bepaald door de vormgeving van gebouwen, met name door de weerkaatsing van het invallende geluid.

Aan de hand van de resultaten kunnen de geluidsniveaus en afscherming goed worden voorspeld voor de locatie en de opstel-

ling van het field lab. Echter, wanneer een voorspelling moet worden gemaakt voor andere locaties zijn de resultaten niet één-op-één te extrapoleren. Los van de stedelijke morfologie kunnen vliegroutes en windpatronen immers verschillen, met andere geluidsniveaus tot gevolg. Kortom, op welke manieren kunnen we toch voorzichtige voorspellingen doen voor andere plekken, op basis van de verzamelde meetgegevens?

Geluidsafscherming voorspellen op basis van metingen

In het field lab worden relatieve verschillen tussen meetposities in een hof het best verklaard door te kijken naar de relatie tussen meetpunten en vliegtuigposities. Op basis van een regressieanalyse verklaart de bronpositie ongeveer de helft van de variaties in de meetgegevens. De geometrische relatie tussen de geluidsbron en een meetpunt kan worden opgevat als een bol rondom een meetpunt, en bestaat daarmee uit twee componenten: de verticale invalshoek en de horizontale hoek (peiling). Figuur 8 toont het relatieve verschil tussen microfoon 1 en microfoon 4 voor elke positie van een vliegtuigpassage (1s tijdsinterval), voor zowel landende als opstijgende vliegtuigen[2].



Figuur 8 Relatie tussen invalshoek en peiling en de relatieve verschillen tussen microfoon 1 en microfoon 4.

Voor vluchten met een vergelijkbare invalshoek is de gemiddelde afscherming berekend. De bovenste afbeelding toont de projectie gezien vanaf meetpunt 4. De onderste afbeelding plot vervolgens de relatieve verschillen (in dB) gerelateerd aan de invalshoek. De figuur laat zien dat het relatieve verschil bij landingen en vliegtuigen met een lage vlieghoogte beperkt is. De grootste verschillen tussen beide meetpunten treden op bij een peiling van 20-40 graden met een verticale invalshoek tussen de 30 en 45 graden. Dit laat duidelijk de richtingswerking van de geluidsbron zien,

waarbij de grootste geluidsproductie uit de straalmotoren komt. De motoren 'stralen' de grootste geluidsintensiteit in een hoek van 30-45 graden achter het vliegtuig uit. In tegenstelling tot lagere vliegtuigpassages, zoals landingen, zijn de relatieve verschillen vrijwel altijd goed meetbaar, en is microfoon 4 maximaal blootgesteld aan het vliegtuiggeluid.

Voorlopig is het nog toekomstmuziek, maar in de toekomst kan wellicht op basis van de vliegtuigposities én de stedelijke morfologie de mate van afscherming door bebouwing voor elke willekeurige locatie rond luchthavens worden voorspeld. De gegevens uit het field lab in Hoofddorp kunnen in ieder geval worden gebruikt als eerste stap in de ontwikkeling van een zogenaamd 'surrogaat-model'. Door metingen op andere locaties uit te voeren kan het model worden gevalideerd, verbeterd en uitgebreid.

En hoe verder?

De resultaten uit het urban comfort lab laten zien dat bebouwing en gebouwworm een substantieel effect hebben op luchtvaartgeluid. De huidige praktijk houdt hier momenteel geen rekening mee. Daarbij moet gezegd worden dat het ontbreekt aan voorbeelden en aansporingen om in ruimtelijke plannen hier rekening mee te houden. Een manco is het ontbreken van modellen waarmee luchtvaartgeluid in stedelijke omgevingen kan worden voorspeld. Hier ligt in onze optiek dan ook een vraag voor vervolgonderzoek. Tegelijkertijd is het onduidelijk of geluidsadaptief bouwen rond luchthavens ook een effect heeft op hinder en slaapkwaliteit. Uit onderzoek bij weggeluid bleek dat dat de toegang tot geluidsluwe gebouwsijden tot minder hinder leidt bij een vergelijkbare geluidsbelasting[3]. Over de effecten van geluidsadaptief bouwen op binnenwaarden of de ervaring van het laagfrequent karakter van het residuele geluid is vooralsnog evenmin iets te zeggen.

Kortom, het veld van 'geluidsadaptief bouwen' rond luchthavens staat nog in de kinderschoenen met volop werk aan de winkel. De resultaten uit het urban comfort lab laten zien dat er al veel kan worden gedaan, en dat het loont om vliegtuiggeluid serieus te nemen bij gebiedsontwikkeling rond luchthavens. Daarbij moet wel zorgvuldig worden gekeken naar effecten en consequenties. Het toevoegen van bebouwing in rekenmodellen zou een logische volgende stap zijn op het vlak van het beheersen van vliegtuiggeluid, naast het beperken van geluid bij de bron. Dit kan ook helpen om de rekenmodellen voor leken begrijpelijker te maken, en verschillen tussen de 'berekende' en 'ervaren' geluidsniveaus te verkleinen. Geluidsadaptief bouwen is dus geen vervanging van de huidige praktijk en regelgeving, eerder een toevoeging met het perspectief van maatwerkoplossingen. Wij zijn van mening dat daarbij de kwaliteit van de leefomgeving en het welzijn van bewoners altijd centraal moet staan.

Referenties

- [1] Lugten, M., Tranquillity by design-Architectural and landscape interventions to improve the soundscape quality in urban areas exposed to aircraft noise, in Martin Centre - Department of Architecture. 2019, University of Cambridge: Cambridge
- [2] Wuite, G., et al., Determining causes of variance in ground-level aircraft noise: Combining in-situ noise and weather measurements with spatial aircraft data. , in Forum Acousticum. 2023, European Acoustical Association: Turin
- [3] Kluzenaar, Y.d., et al., Urban road traffic noise and annoyance: The effect of a quiet façade. The Journal of the Acoustical Society of America, 2011. 130(4): p. 1936-1942