

AKOESTISCHE STUDIE NAAR DE HISTORISCHE BUITENLOCATIE VAN HET PARLEMENT IN IJSLAND



Gemma Tegelaers, TU/e, Capaciteitsgroep Architectuur, Eindhoven

ir. Maarten Hornikx, Chalmers University of Technology, Applied Acoustics, Zweden

ir. Constant Hak, TU/e, Capaciteitsgroep FAGO, Eindhoven

Het parlement van IJsland kwam in de tiende eeuw in de openlucht voor het eerst bij elkaar. Onderzoek naar de juiste positie die de spreker en zijn publiek op het parlementsterrein innamen heeft tot op heden geen uitsluitsel hierover gegeven. In deze studie worden door middel van akoestische overdrachtsmetingen ter plaatse drie mogelijke spreker-publiek-combinaties onderzocht op spraakverstaanbaarheid. Omdat blijkt dat vermeende akoestische reflecties verwaarloosd kunnen worden, is het achtergrondgeluidniveau maatgevend voor de spraakverstaanbaarheid. Daarom heeft een positie met de meeste afscherming van een lokale waterval de beste spraakverstaanbaarheid.

in de buurt. De grootte van de bijeenkomst wordt geschat op enkele honderden tot enkele duizenden toehoorders. Tot 1262 kwam het Althing in de openlucht bijeen. Hierna vonden de vergaderingen van het parlement in een parlamentsgebouw op Thingvellir plaats, waarna het parlement in 1798 naar Reykjavik verhuisde. Voor de IJslanders is Thingvellir van groot historisch belang. Er zijn dan ook al diverse archeologische onderzoeken uitgevoerd om meer te weten te komen over het historische parlement. Momenteel loopt er wederom een archeologisch onderzoeksprogramma [1]. Eén van de studieonderwerpen is de precieze locatie van de wetspreker en zijn publiek op het terrein van Thingvellir. Deze locatie is nog steeds onderwerp van discussie. Een argument dat aangevoerd wordt, is dat de bewuste locatie gekozen werd vanwege de goede akoestische omstandigheden, veroorzaakt door de Almannagjáklóof.

Een akoestisch onderzoek kan helpen bij het bepalen van de akoestisch meest aannemelijke locatie van de wetspreker en zijn publiek. In deze studie wordt dit onderzocht door de spraakverstaanbaarheid te bepalen in de verschillende 'spreker-publiek-posities' en de rol die de rotswand van de kloof hierbij speelt. Er moet een kanttekening worden geplaatst bij de natuurlijke situatie van met name de vlakte die grenst aan de kloof, omdat deze nogal wat veranderingen heeft doorgemaakt in de loop van de eeuwen. Met zekerheid is te zeggen dat deze verzakt is door het uitedrijven van de continentale platen, maar hoeveel verzakking er is opgetreden is niet precies te zeggen. Verkregen akoestische meetresultaten zijn daarom representatief voor de huidige situatie.

METING

Op de locatie zijn drie mogelijke spreker-publiek-combinaties onderzocht. Deze vormen de meest waarschijnlijke van de bijeenkomst van het parlement [2]. Alle situaties worden



Figuur 2: Meetlocatie op het terrein van Thingvellir



Figuur 1: De Almannagjáklóof op Thingvellir. De waterval Drekkingarhylur bevindt zich rechts op de foto. Bron: Lugmayr, Helmut; *The Althing At Thingvellir*; *Iceland Review*; 2002

INTRODUCTIE

De Almannagjakloof in het natuurpark Thingvellir op IJsland ligt op de grens van de continentale platen Eurazië en Amerika. Deze kloof is het décor van het langst bestaande parlement van Europa, gesticht door de eerste kolonisten van IJsland in 930 na Christus. Het 'Althing', zoals het parlement van IJsland nog steeds wordt genoemd, kwam er elk jaar gedurende de eerste twee weken van juli bijeen. De voornaamste activiteiten die tijdens deze twee weken werden uitgevoerd, waren het interpreteren en uitspreken van bestaande wetten en het spreken van recht. Hierbij stond de rechtspreker op een verhoging om zo op het volk neer te spreken. Vonnissen werden ter plaatse uitgevoerd. Thingvellir werd gekozen om logistieke redenen; deze plek was goed bereikbaar vanuit verschillende delen van het land en er was water



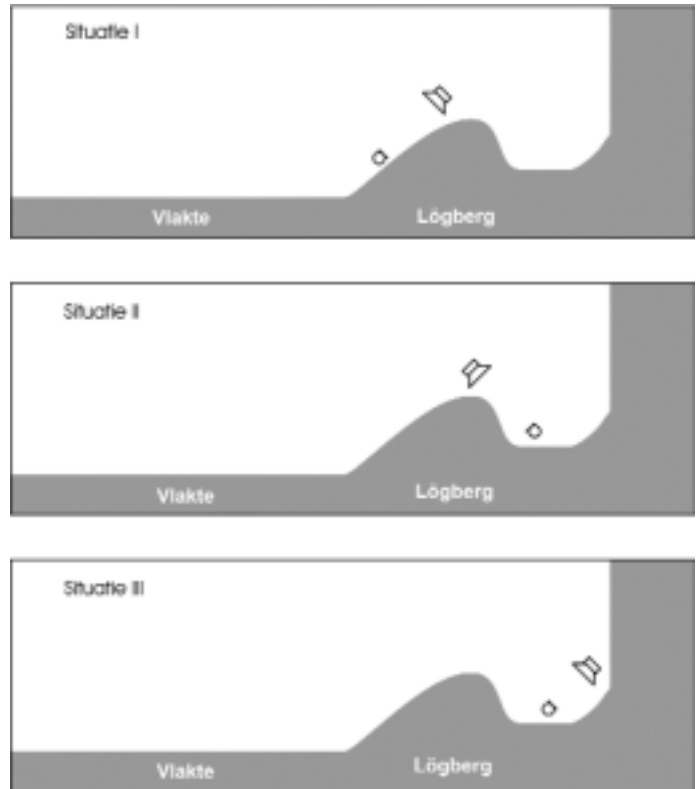
Figuur 3: De Lögberg. De vlaggenmast markeert de vermeende plaats van de vroegere wetspreker. De foto is genomen t.p.v. bronpositie situatie III.

gekenmerkt door een sprekerpositie die hoger ligt dan de positie van het publiek. Verder staat het publiek op een afstand van twintig tot veertig meter van de spreker.

In de eerste situatie staat de spreker op de Lögberg, wat zoveel als ‘wetberg’ betekent. Deze plaats is tegenwoordig gemarkeerd met een vlaggenmast (zie de figuren 2 en 3). De spreker staat met zijn rug naar de rotswand en praat in de richting van de open vlakte, waar het publiek staat. Een andere mogelijkheid is dat de spreker op dezelfde positie staat, maar nu zijn toespraak in de richting van de rotswand houdt. Het publiek staat hierbij in de kloof tussen de rotswand en Lögberg in. Tenslotte is de situatie onderzocht waarbij de spreker op een helling in de kloof vóór de rotswand staat en spreekt in de richting van de Lögberg. Ook hier bevindt het publiek zich in de kloof.

Voor de metingen is gebruik gemaakt van “DIRAC”. Met behulp van dit programma kan door middel van deconvolutietechniek een impulsresponsie worden verkregen waarmee de akoestische overdracht tussen een geluidbron en een microfoon kan worden vastgelegd [3]. Hierbij kan in principe uit verschillende typen meetsignalen worden gekozen. Onder normale stabiele (invariante) condities met relatief weinig stoorgeluid, zoals bijvoorbeeld in een concertzaal, is de signaalkeuze van minder groot belang, maar onder IJslandse buitencondities kan er zeker niet worden gesproken over een invariant systeem met weinig achtergrondgeluid. Daarom is gekozen voor de e-sweep (ook wel log-sweep genoemd). Deze exponentieel oplopende glijtoon is in tegenstelling tot bijvoorbeeld een MLS-sigitaal veel ongevoeliger voor veranderingen in het systeem (in dit geval temperatuurvariaties en wind). Een tweede reden voor de toepassing van de e-sweep was dat met dit signaal op een zo effectief mogelijke manier gebruik kon worden gemaakt van de gebruikte vermogensversterkers met de daarvoor benodigde (ter plaatse geproduceerde) 220V voedingsspanning.

Omdat het door de grilligheid en de steilheden in het gebied (figuur 2 en 3) nagenoeg onmogelijk was om gebruik te maken van (signaal)kabels, is gekozen voor een asynchrone toepassing van de e-sweep. Na een bewerking van het gekozen meetsignaal is deze op een CD gezet, waarbij rekening is



Figuur 4: Situatie I, II en III schematisch weergegeven.

gehouden met de (vaste) afwijking van de draagbare CD-speler die voor dit onderzoek als externe signaalbron is gebruikt. Met de gekozen meetopstelling zijn daarna simultaan op meerdere ontvangposities de impulsresponsies gemeten. Met de gekozen combinatie van meetapparatuur en meetsignaal is geen hinder ondervonden van de klimatologische omstandigheden.

MEETRESULTATEN

De bewuste locatie van de spreker op het terrein van Thingvellir zou door de oude IJslanders onder andere gekozen zijn vanwege de akoestiek van deze positie. Akoestische effecten, indien aanwezig, worden veroorzaakt door de rotswand achter de Lögberg. Per situatie wordt daarom in deze studie de bijdrage van de rotswand gekwantificeerd middels de verhouding van de geluidenergie die de ontvangpositie bereikt via een reflectie met de rotswand en de geluidenergie die gedomineerd wordt door het directe geluid:

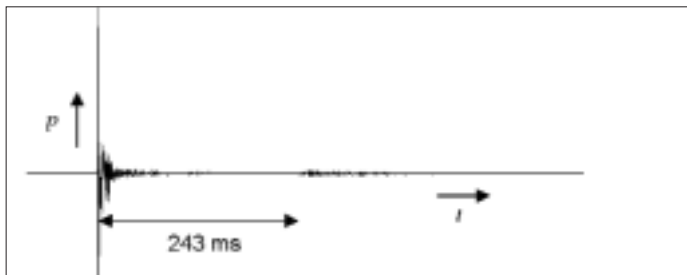
$$L_{rots,rel.} = 10 \log \left(\frac{\int p_{rotswand}^2 dt}{\int p_{direct}^2 dt} \right)$$

Met $L_{rots,rel}$ kan dus indicatief worden bepaald of de rotswand een bijdrage levert aan de spraakverstaanbaarheid.

SITUATIE I

Het gemeten achtergrondniveau in deze situatie bedraagt gemiddeld 43 dB(A) en wordt voornamelijk veroorzaakt

door de waterval (zie figuur 1). De ontvangposities zijn in deze situatie gekozen op de brug die rond de Lögberg loopt (figuur 2). De bron-microfoonafstand loopt uiteen van 19



Figuur 5: Impulsresponsie situatie I

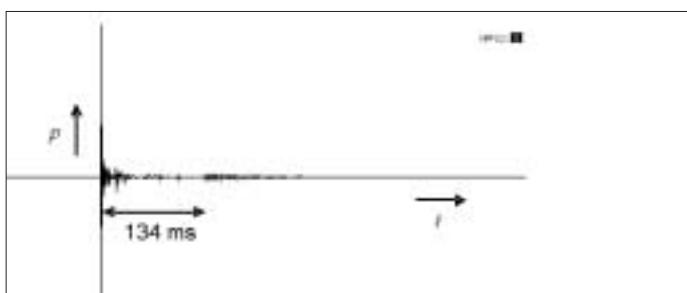
tot 44 meter. Een karakteristieke impulsresponsie van de overdracht in deze situatie ziet er als volgt uit:

Er is duidelijk een onderscheid te maken tussen het directe geluid en het geluid dat via een reflectie met de rotswand de microfoonpositie bereikt. In figuur 7 is $L_{rots,rel}$ per ontvangpositie weergegeven. De bijdrage van de rotswand wordt groter naarmate de ontvangpositie meer naar de zijkant van de Lögberg geplaatst is (posities R1 en R6 in figuur 9), maar de waarden bereiken echter nooit een zodanig niveau dat de spraakverstaanbaarheid beïnvloed wordt. Aangezien de reflectie van de rotswand laat binnenkomt ($t \gg 50$ ms) zouden hoge waarden van $L_{rots,rel}$ bovendien een negatieve invloed hebben op de spraakverstaanbaarheid.

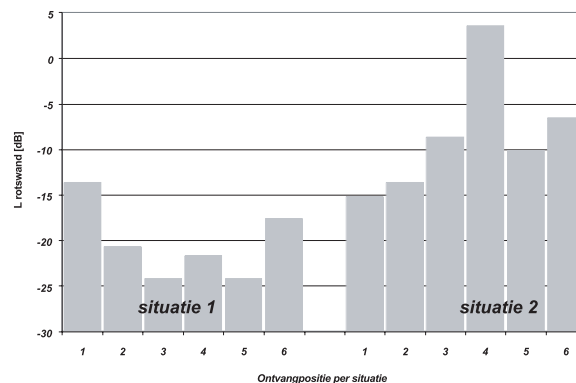
SITUATIE II

Het achtergrondniveau dat in de kloof heerst ligt een stuk hoger dan het niveau op de brug (58 dB(A)). Tussen de microfoonposities en de waterval is nu minder afscherming. In de ruimte tussen de Lögberg en de rotswand zijn zes microfoonposities gekozen (figuur 9). Opgemerkt dient te worden dat er in de kloof plaatsen zijn van waar de spreker niet zichtbaar is (microfoonpositie 4). Figuur 6 geeft een karakteristieke impulsresponsie voor deze situatie.

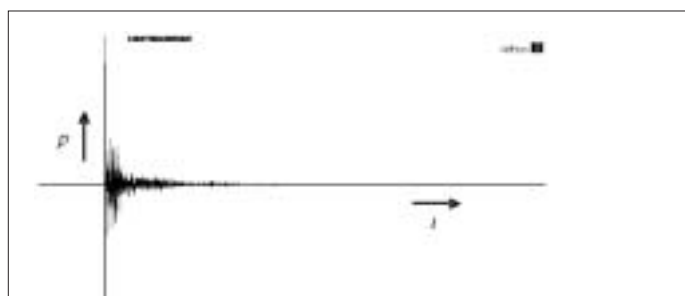
In vergelijking met situatie I komt de reflectie vroeger en heeft deze een grotere energie-inhoud. De $L_{rots,rel}$ (zie figuur 7) ligt voor situatie II met gemiddeld -3 dB dan ook een stuk hoger dan voor situatie I. De reflectie van de rotswand komt ook in dit geval laat ($t \gg 50$ ms) binnen. De aanwezigheid van de rotswand is hier dus ongunstiger voor de spraakverstaanbaarheid dan in situatie I.



Figuur 6: Impulsresponsie situatie II



Figuur 7: $L_{rots,rel}$ voor situaties I en II



Figuur 8: Impulsresponsie situatie III

SITUATIE III

De microfoonposities in situatie III zijn identiek aan die in situatie II. Het stoorniveau in deze situatie is dan ook gelijk aan die van situatie II. Een impulsresponsie van deze situatie heeft een karakteristiek van die van een omsloten ruimte.

De reflecties van de rotswand zijn in deze situatie vroeg. Omdat deze moeilijk van het directe geluid te onderscheiden zijn, is $L_{rots,rel}$ voor deze situatie niet bepaald. De aanwezigheid van de rotswand ondersteunt nu de spraakverstaanbaarheid in de kloof.

SPRAAKVERSTAANBAARHEID

Voor het bepalen van de spraakverstaanbaarheid zijn er in de literatuur diverse parameters beschreven. Eén van die parameters is de STI (Speech Transmission Index). De waarde van deze, volgens IEC 60268-16 [4] genormeerde parameter ligt tussen 0 en 1 (tabel 1), en wordt door DIRAC berekend uit een set 'Modulatie Transfer Indices' [5] [6], met als uitgangspunt de 'Modulation Transfer Function' [7].

De broneigenschap speelt een belangrijke rol bij het meten van de spraakverstaanbaarheid. Omdat voor de metingen gebruik is gemaakt van een omnidirectionele bron met een relatief hoog signaalniveau zijn voor het verkrijgen van de juiste STI-waarden de meetresultaten teruggerekend naar de eigenschappen van een luide mannenstem [8]. Omdat de verre omgeving (rotswanden) m.b.t. reflecties weinig invloed had op de gemeten impulsresponsies, speelt de richtkarakter-

STI	waardering
0,00 - 0,30	slecht
0,30 - 0,45	matig
0,45 - 0,60	redelijk
0,60 - 0,75	goed
0,75 - 1,00	uitstekend

Tabel 1: STI-waarden met bijbehorende spraakverstaanbaarheidswaardering.

riestiek hierbij een ondergeschikte rol. Voor het geluidniveau van een luide mannenstem op 1 m afstand is uitgegaan van een waarde van 72 dB(A) (ISO 9921). Het geluiddrukkniveau per octaafband is gegeven in tabel 2 [9].

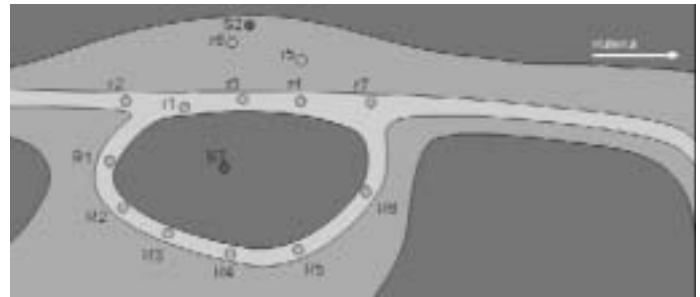
De waarden van de STI zijn per situatie over de ontvangposities gemiddeld (zie tabel 3). Volgens IEC 60268-16 is de spraakverstaanbaarheid in situatie I redelijk en slecht in de overige twee situaties. Het achtergrondniveau heeft geen invloed op de STI wanneer de Signal to Noise Ratio (SNR) hoger is dan 15 dB. In de drie situaties is de SNR echter beduidend lager. Het achtergrondniveau heeft dus invloed op de STI-waarden. De waarden van de SNR in de oorspronkelijke metingen (die nog niet zijn aangepast op een luide mannenstem) liggen boven de 15 dB. De STI's berekend voor deze metingen liggen voor alle situaties tussen 0,95 en 1. Dit strookt met de bevindingen dat er nauwelijks ongunstige akoestische effecten zijn. De spraakverstaanbaarheid is dus uitstekend wanneer het achtergrondniveau geen invloed heeft. Teruggekoppeld naar de metingen aangepast op een luide mannenstem impliceert dit dat het verschil in achtergrondniveaus tussen situatie I enerzijds en de situaties II en III anderzijds oorzaak is van het grote verschil in de

frequentie [Hz]	125	250	500	1k	2k	4k
geluiddrukkniveau [dB]	61	69	71	68	60	49

Tabel 2: Spectrum van mannenstem [9]

	$L_{\text{Achtergrond}}$ [dB(A)]	STI [-]	$L_{\text{rots,rel.}}$ [dB]
situatie 1	43	0,53 (0,15)	-19
	38	0,74 (0,18)	
situatie 2	58	0,06 (0,05)	-3
	53	0,14 (0,11)	
situatie 3	58	0,12 (0,06)	—
	53	0,24 (0,09)	

Tabel 3: Berekende STI waarden bij respectievelijk het gemeten achtergrondniveau en een 5 dB lager achtergrondniveau (cur-sief). De STI-waarden tussen haken zijn standaardafwijkingen. De $L_{\text{rots,rel.}}$ -waarden zijn gemiddeld over de ontvangposities.



Figuur 9: Schematische weergave van de meetposities. S1 = bron situatie I en II, S2 = bron situatie III, R1 t/m R6 = ontvangpositie situatie I, r1 t/m r7 = ontvangpositie situatie I en II

STI-waarden.

Een betere spraakverstaanbaarheid kan bereikt worden door het spraakniveau te verhogen. Tabel 3 geeft ook de verhoging in de spraakverstaanbaarheid wanneer de mannenstem 5 dB luider is (77 dB(A)). In de berekeningen wordt dit bewerkt door het achtergrondniveau met 5 dB te verlagen. De spraakverstaanbaarheid in de situaties twee en drie blijft echter slecht. De hogere STI-waarden voor situatie III ten opzichte van situatie II is toe te schrijven aan de positieve invloed van de rotswand.

CONCLUSIE

De locatie van het historische buitenparlement in het natuurpark Thingvellir op IJsland zou onder andere gekozen zijn om akoestische redenen. Drie mogelijke spreker – luisteraarposities zijn onderzocht op hun akoestische kwaliteit. Het blijkt dat er nauwelijks akoestische effecten in de vorm van reflecties op de locaties aanwezig zijn die invloed hebben op de spraakverstaanbaarheid. Slechts in situatie III levert de rotswand een kleine positieve bijdrage. De spraakverstaanbaarheid in alledrie de situaties is dan ook voornamelijk afhankelijk van het heersende achtergrondniveau. Omdat de nabijgelegen waterval voor een hoger achtergrondniveau in de kloof zorgt, is situatie I akoestisch gezien de meest geschikte.

DANKWOORD

Dank gaat uit naar de sponsors van de Meetexpeditie 2003, zonder wier financiële bijdrage de expeditie onmogelijk was geweest, met name TU/e Faculteit Bouwkunde en capaciteitsgroep FAGO, Center for Building and Systems TNO-TU/e, de Nederlands Vlaamse Bouwfysica Vereniging en DGMR Raadgevende Ingenieurs.

REFERENTIES

- [1] www.thingvellir.is/frettasafn/nr/178
- [2] E. Sæmundsen, persoonlijk contact, (2003).
- [3] Technical note TN001. Measuring Impulse Responses Using Dirac, (2004).
www.acousticsengineering.com/support
- [4] IEC 60268-16: Sound system equipment – part 16:

- objective rating of speech intelligibility by speech transmission index., (2003).
- [5] Technical note TN002. Measuring Speech Intelligibility Using Dirac, (2003).
www.acoustics-engineering.com/support
- [6] Houtgast, T., Steeneken, H.J.M., Plomp, R., "Predicting Speech Intelligibility in rooms from the Modulation Transfer Function", *Acustica* 46, 60 – 72 (1980).
- [7] Schroeder, M.R., "Modulation Transfer Functions: Definition and Measurement", *Acustica* 49, 179 - 182 (1981).
- [8] ISO 9921: Ergonomie – Beoordeling van spraakverstaanbaarheid, (2003).
- [9] Kinsler, L.E., Frey, A.R., Coppens, A.B., Sanders, J., "Fundamentals of acoustics", John Wiley and Sons, Fourth edition (2000).