GESCHIKTHEID VAN BESTAANDE KELDERS ALS SCHUILRUIMTE

Ontwikkeling en toepassing van een systematisch beoordelingsmodel

Francisco de Meij
Studentennummer: 5411939
Opleiding: Civiele Techniek
Faculteit: Civiele Techniek en Geowetenschappen
Begeleiders: Dr.ir. G.A. van Nederveen en Dr.ir. P.C.J. Hoogenboom

TU Delft

Voorwoord

Voor u ligt het bachelor eindproject *“Geschiktheid van bestaande kelders als schuilruimte: ontwikkeling en toepassing van een systematisch beoordelingsmodel”*. Dit rapport is geschreven ter afronding van de bacheloropleiding Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft.

Van november 2025 tot en met januari 2026 heb ik gewerkt aan het onderzoeken en uitwerken van dit project. Aanleiding voor dit onderzoek vormden de recente geopolitieke ontwikkelingen en de hernieuwde aandacht voor civiele bescherming en schuilvoorzieningen. Tijdens het project heb ik mij gericht op het ontwikkelen van een praktisch toepasbaar model waarmee de geschiktheid van bestaande kelders als schuilruimte op een systematische manier kan worden beoordeeld en vergeleken.

Het project combineerde literatuuronderzoek, analyse van bestaande gebouwdocumentatie en een uitgebreide casestudy van de kelder van de faculteit Bouwkunde. Met name het vertalen van uiteenlopende technische en organisatorische aspecten naar één samenhangend beoordelingsmodel was uitdagend, maar ook leerzaam. Daarbij is gebruikgemaakt van bestaande richtlijnen, normen en praktijkinformatie, aangevuld met eigen observaties en gesprekken met deskundigen.

Bij het schrijven van dit rapport is gebruikgemaakt van digitale hulpmiddelen ter ondersteuning van de tekststructuur en het verbeteren van formuleringen en taalgebruik. Hierbij is onder andere een AI-hulpmiddel (ChatGPT) ingezet voor het corrigeren van taal- en stijlfouten. De inhoudelijke keuzes, analyses, interpretaties en conclusies in dit rapport zijn volledig gebaseerd op eigen onderzoek, geraadpleegde bronnen en de begeleiding tijdens het project.

Graag wil ik mijn begeleiders Dr.ir. G.A. van Nederveen en Dr.ir. P.C.J. Hoogenboom bedanken voor de begeleiding, feedback en kritische vragen gedurende dit bachelor eindproject. Deze hebben geholpen om het onderzoek scherp te houden en het model verder te verbeteren. Tot slot wil ik mijn familie en vrienden bedanken voor hun steun tijdens het uitvoeren en afronden van dit project.

Ik wens u veel leesplezier.

Francisco de Meij
Delft, januari 2026

Samenvatting

In dit bachelor eindproject wordt onderzocht of het mogelijk is om een systematisch model te ontwikkelen waarmee de geschiktheid van bestaande kelders als schuilruimte kan worden beoordeeld. De aanleiding voor dit onderzoek ligt in de toenemende aandacht voor civiele bescherming en de actuele geopolitieke ontwikkelingen in Europa en daarbuiten. Hierdoor rijst de vraag in hoeverre bestaande gebouwen, zoals universiteitsgebouwen, ingezet kunnen worden als schuilvoorziening in noodsituaties.

Het doel van het onderzoek is het ontwikkelen van een geschiktheidsindex die op basis van meerdere relevante variabelen inzicht geeft in de mate waarin een kelder geschikt is voor kortdurend schuilgebruik. De geselecteerde variabelen hebben betrekking op constructieve veiligheid, capaciteit en ruimte, verblijfsomstandigheden en organisatie en toegankelijkheid. Deze aspecten zijn samengebracht in een reproduceerbaar beoordelingsmodel met bijbehorende weegfactoren.

Als casestudy is de kelder van de faculteit Bouwkunde (gebouw 08) op de TU Delft-campus onderzocht. Op basis van beschikbare documentatie, plattegronden en een visuele inspectie is het model toegepast op deze kelder. De resultaten laten zien dat de kelder ruimtelijk en constructief potentie heeft als schuilruimte, maar dat de geschiktheid in de huidige situatie voornamelijk wordt beperkt door tekortkomingen in de verblijfsvoorzieningen, zoals ventilatie en noodvoorzieningen.

Het ontwikkelde model blijkt daarmee geschikt als eerste beoordelings- en vergelijkingsinstrument om inzicht te krijgen in de inzetbaarheid van bestaande kelders als schuilruimte en om knelpunten voor mogelijke verbetering systematisch in kaart te brengen.

Inhoudsopgave

Voorwoord 1
Samenvatting 2
1. Inleiding 6
1.1 Aanleiding 6
1.2 Probleemstelling 6
1.3 Doelstelling 6
1.4 Onderzoeksvraag 7
1.5 Deelvragen 7
2. Onderzoeksopzet en afbakening 8
2.1 Onderzoeksaanpak 8
2.2 Gebruikte methoden en databronnen 8
2.3 Afbakening en scope van het onderzoek 9
2.4 Positionering van het ontwikkelde model 9
3. Casestudy: Kelder Faculteit Bouwkunde 10
3.1 Gebouwbeschrijving 10
3.2 Kelderindeling en oppervlaktes 11
3.3 Constructieve en technische kenmerken 13
3.4 Ontsluiting en uitgangen 14
3.5 Visuele inspectie 14
4. Literatuuronderzoek 16
4.1 Type schuilgebruik en verblijfsduur 16
4.2 Ruimte per persoon en bezettingsdichtheid 16
4.3 Ventilatie en luchtkwaliteit 16
4.4 Constructieve veiligheid en robuustheid 17
4.5 Toegankelijkheid en ontsluiting 17
4.6 Basisvoorzieningen 17
4.7 Samenvatting en relatie met het geschiktheidsmodel 18
5. Het geschiktheidsmodel 19
5.1 Doel en nut van het model 19
5.1.1 Uitgangspunt: kortdurend schuilgebruik 19
5.2 Categorieën en Variabelen 20

5.3 Weegfactoren 21
5.4 Scoringssystematiek 22
5.4.1 Kwantitatieve variabelen 22
5.4.2 Kwalitatieve variabelen 23
5.4.3 Binaire variabelen 23
5.5 Toelichting beoordeling per hoofdcategorie 24
5.6 Aannames en beperkingen van het model 25
6. Resultaten / Testen van het model 26
6.1 Invoer en aannames 26
6.2 Capaciteit (aantal personen) 27
6.2.1 Verwachte bezetting op een doordeweekse dag 27
6.3 Scores per variabele en categorie 28
Hoofdstuk 7 – Technische uitwerking ventilatiesysteem kelder Bouwkunde 31
7.1 Aanleiding en doel van de technische uitwerking 31
7.2 Beschrijving van het bestaande ventilatiesysteem 31
7.3 Normatieve eisen voor ventilatie bij kortdurend schuilgebruik 33
7.4 Analyse van het bestaande systeem ten opzichte van schuilgebruik 34
7.5 Gevolgen voor de score en mogelijke verbetermaatregelen 35
7.6 Kostenindicatie op hoofdlijnen 35
7.7 Reflectie: aanwezigheid versus geschiktheid 36
8. Discussie 37
8.1 Betekenis van de geschiktheidsindex 37
8.2 Analyse van de belangrijkste bottlenecks 37
8.3 Gevoeligheid en beperkingen van het model 37
9. Conclusie 38
. 10. Aanbevelingen 40
10.1 Aanbevelingen voor de kelder van de faculteit Bouwkunde 40
10.2 Must-haves en Nice-to-haves bij schuilgebruik 41
10.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek en doorontwikkeling van het model 41
10.4 Zelfreflectie 42
10.5 Methodologische eindreflectie 42
Bibliografie 45

Bijlage A. Must-have en & Nice-to-have tabellen 47
Bijlage B: Het Geschiktheidsmodel 0
Bijlage C: Validatie-interview Erwin Faber 0

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Door recente geopolitieke veranderingen is de noodzaak van goede civiele bescherming en adequate schuilplekken voor burgers weer volop in de aandacht. In Nederland zien we dat veel schuilkelders die nog dateren uit de Koude Oorlog óf gesloten zijn, óf al jaren geen onderhoud meer hebben gehad. Tegelijkertijd staan er veel grote gebouwen, zoals die op universiteitscampussen, die over uitgestrekte kelderruimtes beschikken terwijl veel mensen dit niet weten.

De campus van de TU Delft is een duidelijk voorbeeld van zo'n omgeving; hier zijn dagelijks enorme aantallen mensen aanwezig en veel gebouwen hebben kelders, in de Engelse literatuur 'shelters' genoemd, die in theorie prima als schuilruimte zouden kunnen dienen. De centrale vraag hierbij is in hoeverre dergelijke kelders daadwerkelijk geschikt zijn om in noodsituaties als schuilruimte te functioneren.

1.2 Probleemstelling

Er is in het verleden al wel onderzoek gedaan naar bijvoorbeeld de constructieve sterkte van bepaalde kelders of wat de impact van een explosie is op een gebouw zoals op die van de kelder van civiele techniek (Ooijen, 2024). Wat echter nog ontbreekt, is een gestructureerd en reproduceerbaar model dat systematisch met genoeg gegevens alle kelders zou kunnen testen en vergelijken op hun geschiktheid om te dienen als schuilkelder.

Veel bestaande studies beperken zich tot één specifiek gebouw of richten zich slechts op één aspect, zoals de explosiebelasting. Er wordt niet gekeken naar het hele plaatje waar veel andere variabelen ook een rol spelen. Dit maakt het erg moeilijk om verschillende kelders met elkaar te vergelijken of om op campusniveau goed onderbouwde keuzes te maken.

1.3 Doelstelling

Dit bachelor eindproject richt zich op het vinden van de factoren die een rol spelen bij de inzetbaarheid van kelders als schuilruimte en op uit te vinden hoe deze factoren gezamenlijk beoordeeld kunnen worden. Daarmee moet dit onderzoek zorgen voor een model dat een beter onderbouwde beoordeling van bestaande kelders kan geven, en daarmee kan dienen als hulpmiddel bij het beoordelen en vergelijken van bestaande kelders.

1.4 Onderzoeksvraag

Op basis van de beschreven aanleiding en probleemstelling luidt de hoofdvraag van dit onderzoek:

In hoeverre kan een systematisch beoordelingsmodel, gebaseerd op relevante variabelen, de geschiktheid van kelders als schuilruimte inzichtelijk maken, en wat laat een eerste toepassing op de kelder van de faculteit Bouwkunde zien?

1.5 Deelvragen

Om de hoofdvraag goed te kunnen beantwoorden, zijn de volgende deelvragen opgesteld:

1. Welke factoren en variabelen zijn bepalend voor de geschiktheid van een schuilkelder, volgens zowel de bestaande literatuur als de praktijk?
2. Welke ruimtelijke, constructieve en technische kenmerken van de Bouwkunde-kelder zijn relevant als input voor het geschiktheidsmodel?
3. Hoe kunnen de gekozen variabelen naar een kwantitatieve of kwalitatieve score worden vertaald, en welke weegfactoren zijn hierbij noodzakelijk?
4. Hoe worden de verschillende categorieën en deelscores samengebracht tot één overzichtelijke geschiktheidsindex?
5. Welke eerste, indicatieve conclusies kunnen worden getrokken uit een initiële toepassing van het ontwikkelde model op de Bouwkunde-kelder?

2. Onderzoeksopzet en afbakening

2.1 Onderzoeksaanpak

De opzet van dit onderzoek rust op drie pijlers: literatuuronderzoek, een casestudy en de uiteindelijke modelontwikkeling. Om tot een goed resultaat te komen, is gewerkt in vier fasen die direct op elkaar aansluiten:

1. **Inventarisatie van de casestudy**
   In de eerste fase is de kelder van de faculteit Bouwkunde volledig geïnventariseerd. Hiervoor zijn bestaande documentatie en plattegronden gebruikt, aangevuld met visuele inspecties op locatie om de huidige fysieke en technische staat vast te stellen.

2. **Literatuuronderzoek en normselectie**
   Parallel aan de inventarisatie is literatuuronderzoek uitgevoerd naar internationale richtlijnen en normen voor schuilruimtes. Op basis hiervan is bepaald welke beoordelingscriteria en variabelen relevant zijn voor dit onderzoek.

3. **Ontwikkeling van het geschiktheidsmodel**
   De belangrijkste variabelen uit de literatuur en de praktijk zijn vervolgens samengevoegd in een conceptueel geschiktheidsmodel. Hierbij zijn categorieën, scoresystematiek en weegfactoren vastgesteld.

4. **Toepassing en evaluatie van het model**
   In de laatste fase is het ontwikkelde model toegepast op de kelder van de faculteit Bouwkunde om de werking en bruikbaarheid ervan te toetsen. Door deze toepassing kon het model inhoudelijk worden geëvalueerd.

Door deze gefaseerde opzet ontstaat een directe koppeling tussen de theoretische onderbouwing en de praktische toepassing van het model.

2.2 Gebruikte methoden en databronnen

De benodigde data zijn uit verschillende hoeken verzameld. Voor de technische analyse van het gebouw is het DNA-dossier van de faculteit Bouwkunde als basis gebruikt, in combinatie met eigen observaties in de kelder. Daarnaast zijn er gesprekken gevoerd met medewerkers van het Logistiek Punt en gebouwbeheer om meer inzicht te krijgen in hoe de kelder dagelijks wordt gebruikt, hoe het onderhoud is geregeld en hoe toegankelijk de ruimtes werkelijk zijn.

Het literatuuronderzoek is gebaseerd op nationale en internationale kaders, waaronder de FEMA-richtlijnen, relevante NEN-normen en het Bouwbesluit 2012. Deze bronnen leverden de noodzakelijke onderbouwing voor de variabelen en weegfactoren binnen het

model. Ter validatie zijn de opzet en de gehanteerde aannames van het model getoetst in een gesprek met een technisch deskundige. De geraadpleegde technisch deskundige is een afgestudeerd civiel ingenieur met een masterachtergrond in offshore engineering en ervaring met constructieve en technische vraagstukken. Door deze achtergrond kon hij het model kritisch beoordelen vanuit technisch-inhoudelijk perspectief en fungeren als een onafhankelijke second opinion bij het aanscherpen van variabelen en weegfactoren.

Daarnaast is, om het model breder te toetsen aan praktijkervaring, een aanvullend validatiegesprek gevoerd met Erwin Faber, werkzaam als project engineer en technisch adviseur binnen de gebouw- en installatietechniek. Vanuit zijn ervaring met utiliteitsgebouwen en technische installaties kon hij het model beoordelen op praktische toepasbaarheid en realiteitsgehalte. Met name zijn opmerkingen over constructieve veiligheid als randvoorwaarde en het belang van minimale eisen voor ventilatie en noodvoorzieningen hebben geleid tot verdere aanscherping van de beoordelingssystematiek. Het volledige interviewverslag is opgenomen in Bijlage C.

2.3 Afbakening en scope van het onderzoek

Het onderzoek richt zich specifiek op de beoordeling van bestaande kelders en is niet bedoeld als ontwerpstudie voor nieuwe schuilkelders. De focus ligt op het bepalen van de potentie van de huidige ruimtes. Het technisch uitwerken van specifieke versterkings- of renovatieplannen valt buiten de scope van dit project. Daarnaast worden geen gedetailleerde constructieve berekeningen of numerieke simulaties uitgevoerd, zoals blastanalyses of eindige-elementenmodellen. Constructieve veiligheid wordt in dit onderzoek op een globale en indicatieve manier beoordeeld op basis van beschikbare bouwkundige informatie en engineering judgement. Deze afbakening is bewust gekozen, omdat het doel van het onderzoek ligt bij vergelijking en eerste beoordeling, en niet bij technische detaillering.

Het model is toegepast op één casestudy, namelijk de kelder van de faculteit Bouwkunde. Hoewel het model in principe breder toepasbaar is, worden conclusies in dit onderzoek beperkt tot deze specifieke casus.

2.4 Positionering van het ontwikkelde model

Het ontwikkelde geschiktheidsmodel is bedoeld als vergelijkings- en analyse-instrument en niet als een certificerings- of ontwerpmodel. De resulterende geschiktheidsindex geeft geen absolute garantie voor veiligheid, maar biedt inzicht in de mate waarin een kelder voldoet aan relevante randvoorwaarden voor schuilgebruik en waar de belangrijkste knelpunten liggen.

Het model positioneert zich nadrukkelijk in de fase voorafgaand aan gedetailleerd technisch onderzoek. Waar andere studies zich richten op diepgaande constructieve analyses en ontwerpuitwerkingen van specifieke kelders, richt dit onderzoek zich op het

systematisch beoordelen en vergelijken van kelders om te bepalen welke locaties kansrijk zijn voor verdere uitwerking.

3. Casestudy: Kelder Faculteit Bouwkunde

Voor dit Bachelor Eindproject is gekozen om de kelder van de faculteit Bouwkunde grondig te onderzoeken en te bekijken of deze als voorbeeld geschikt is om het ontwikkelde model te testen en om te beoordelen in hoeverre de kelder zou kunnen dienen als schuilkelder.

Er is voor de faculteit Bouwkunde gekozen omdat het gebouw groot en complex is en er dagelijks grote aantallen studenten en medewerkers aanwezig zijn. Daarnaast zijn er veel verschillende variabelen aanwezig en kent zowel de kelder als het gebouw duidelijke sterke en zwakke punten, waardoor deze kelder geschikt is om het model op toe te passen.

Voor deze casestudy is een groot deel van de gebruikte informatie afkomstig uit het DNA-dossier van de faculteit Bouwkunde. Dit dossier bevat uitgebreide documentatie en plattegronden van het gebouw en zal daarom regelmatig als bron worden gebruikt (TU Delft, 2019).

Dit hoofdstuk beschrijft de relevante gebouwkundige, ruimtelijke en technische kenmerken van het gebouw, maar vooral van de kelder van de faculteit Bouwkunde die als input dienen voor het geschiktheidsmodel.

3.1 Gebouwbeschrijving

De faculteit Bouwkunde is gehuisvest in gebouw 08 (BK City) op de TU Delft-campus. Het gebouw bestaat uit meerdere vleugels en is oorspronkelijk gebouwd in de periode 1918–1923. In de loop der tijd is het gebouw meerdere malen aangepast en uitgebreid.

Het gebouw staat uit meerdere bouwdelen en vleugels wat leidt tot de eerder genoemde complexe gebouwopzet. Het gebouw is op een traditionele manier gebouwd met een massieve bouw waardoor er sprake is van een relatief zware constructie. Dit is later belangrijk voor het beoordelen van de kelder voor schuilgebruik.

Vroeger diende dit gebouw als aula van de TU Delft campus. Echter toen het voormalige gebouw van de faculteit Bouwkunde aan de Berlageweg door brand werd verwoest, werd dit gebouw in korte tijd omgebouwd tot de BK Bouwkunde (TU Delft, 2019).

Deze bouwkundige kenmerken zijn relevant voor de beoordeling van de constructieve veiligheid en stabiliteit binnen het geschiktheidsmodel.



Figuur 1: Foto's Bouwkunde gebouw met ernaast de bijbehorende delen (Tu Delft, 2019)

3.2 Kelderindeling en oppervlaktes

De kelder strekt zich uit over meerdere bouwdelen onder de begane grond. De kelder is opgedeeld in verschillende gangen met technische ruimtes, opslagruimtes en andere ruimtes. Er is dus geen sprake van één open kelderruimte .

In de tabel 1 is het Bruto Vloeroppervlak per bouwdeel en per verdieping weergegeven op basis van het DNA-dossier. De weergegeven oppervlakten vormen de basis voor de latere capaciteitsberekeningen.

Verdieping	Bouwdeel Midden (08.01) [m² BVO]	Bouwdeel Oost (08.02) [m² BVO]	Bouwdeel West (08.03) [m² BVO]	Bouwdeel Zuid (08.04) [m² BVO]
Kelder (.K1)	860	3321	3652	77
Begane grond (.00)	841	4459	3659	2591
Tussenverdieping BG (.T0)	76	854	348	748
1e verdieping (.01)	923	3467	3605	-
Tussenverdieping 1e (.T1)	425	440	1349	-
2e verdieping (.02)	928	3370	3643	-
3e verdieping (.03)	949	3101	3412	-
Totaal	**5002**	**19012**	**19668**	**3416**

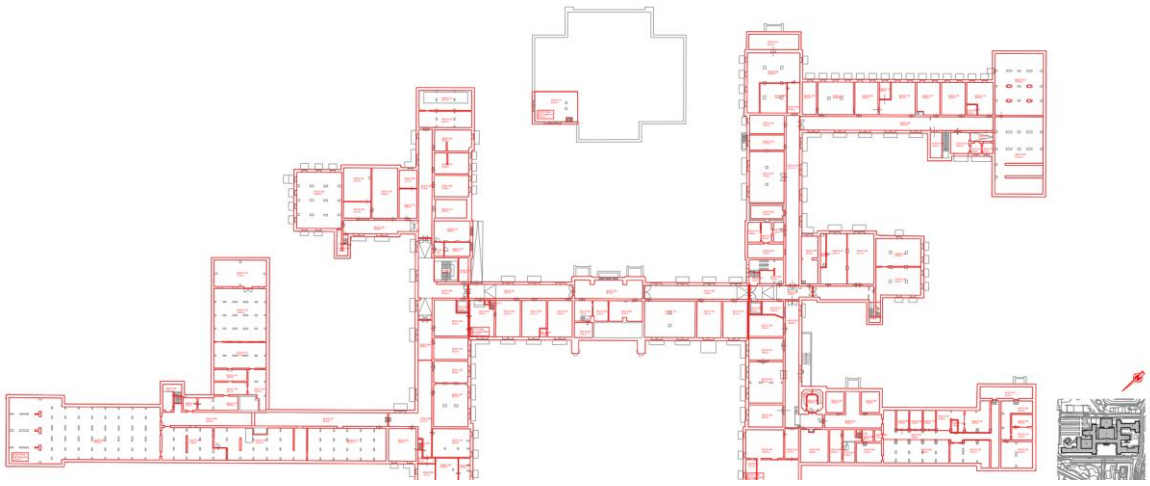
Tabel 1: BVO (m²) van elk bouwdeel en verdieping

Hieruit blijkt dat met name de oost- en westvleugel een aanzienlijke potentiële capaciteit hebben, terwijl de zuidvleugel slechts een zeer beperkte rol kan spelen. De middenvleugel neemt hierbij een tussenpositie in..

Er moet echter rekening worden gehouden met het feit dat niet het volledige kelderoppervlak momenteel bruikbaar is. Dit komt doordat er ruimtes nu worden gebruikt voor andere functies, zoals vooral voor opslagplekken, maar ook voor een fotostudio en een maquetteatelier.

Ook zijn er delen van de kelder die nu helemaal niet worden gebruikt omdat deze niet mee gerenoveerd zijn en structureel zijn afgesloten. Deze delen worden daarom niet meegenomen in de effectieve schuilcapaciteit maar wel in de totale kelderoppervlakte.

Om deze reden wordt de kelder in dit onderzoek als één geheel beschouwd en dus geen aparte score per bouwdeel toegekend. Deze verschillen worden namelijk indirect meegenomen via variabelen zoals bruikbare ruimte en onderhoudsstaat.



Figuur 2: Plattegrond kelder Bouwkunde (TU Delft, 2019)

3.3 Constructieve en technische kenmerken

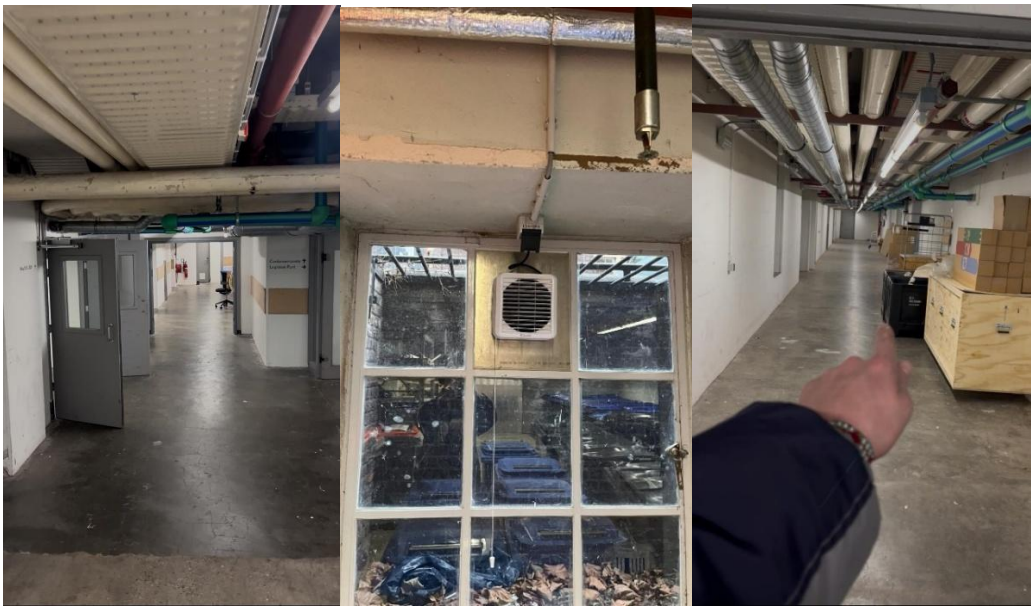
De kelder van Bouwkunde ligt onder een traditioneel, massief gebouw. Omdat de hoofddraagconstructie vooral bestaat uit metselwerk en natuursteen, waarbij veel binnenwanden ook echt een dragende functie hebben, is het hele gebouw behoorlijk zwaar opgezet. Dit maakt de kelderconstructie aan de ene kant heel robuust, maar betekent ook dat de kelder de volledige last van de bovenliggende bouwdelen moet dragen.

Omdat de kelderwanden en -vloeren zo massief zijn uitgevoerd, is de ruimte beneden flink opgedeeld. Dat is handig voor de compartimentering, maar het zorgt er wel voor dat er nauwelijks grote, open ruimtes zijn. Omdat niet van alle bouwdelen exacte wand- en vloerdiktes beschikbaar zijn, is de beoordeling gebaseerd op globale aannames.

Qua installaties heeft het gebouw een uitgebreid ventilatiesysteem met verschillende luchtbehandelingskasten die meestal op basis van CO_2-gehaltes werken. Belangrijk om te weten is dat deze installaties echt zijn ontworpen voor normaal dagelijks gebruik. Ze zijn niet berekend op noodsituaties waarbij ze langdurig moeten draaien. Ook is er geen noodstroomvoorziening, dus als de stroom uitvalt, stoppen de installaties er direct mee.

Voor de veiligheid zijn de standaard zaken aanwezig, zoals een brandmeldinstallatie, sprinklers en rookcompartimenten. Ook de vluchtwegen en trappenhuizen voldoen aan de huidige regels. Wel moet erbij gezegd worden dat dit alles is ingericht op een normale werkdag en niet specifiek is getest voor gebruik als schuilplaats. Deze technische details komen allemaal uit het DNA-dossier van de faculteit Bouwkunde (TU Delft, 2019).

Deze kenmerken worden in het model meegenomen als indicatieve input en vormen geen vervanging voor gedetailleerde constructieve berekeningen.



Figuur 3: Gecompartimenteerde gangen met opslag op de gangen, midden: deel ventilatiesysteem

3.4 Ontsluiting en uitgangen

De kelder van de faculteit Bouwkunde is via meerdere routes ontsloten naar de begane grond. Er zijn twee hoofduitgangen via trappenhuizen in de oostvleugel en het midden/westelijke deel van het gebouw. Daarnaast zijn er twee liften die direct verbinding maken met de begane grond en twee goederenliften die naar buiten leiden. Verder zijn er verspreid over de kelder enkele kleinere doorgangen en deuren die eveneens toegang geven tot de bovengelegen verdiepingen.

Deze ontsluitingen maken onderdeel uit van de reguliere vluchtwegenstructuur van het gebouw en zijn ingericht voor normaal dagelijks gebruik. De uitgangen zijn daarmee normaal gericht op het verlaten van het gebouw en niet specifiek ontworpen voor gebruik van de kelder als schuilruimte (TU Delft, 2019).

Voor schuilgebruik is vooral relevant dat deze ontsluitingen voldoende capaciteit en spreiding bieden, maar niet specifiek zijn ontworpen voor grootschalige instroom naar de kelder.

3.5 Visuele inspectie

Tijdens meerdere rondgangen door de kelder van de faculteit Bouwkunde is een visuele inspectie uitgevoerd. Hierbij is de kelder in zijn geheel bekeken en zijn foto's en video's gemaakt van verschillende typen ruimtes, waaronder gangen, technische ruimtes, opslagruimtes en enkele grotere open delen. De inspecties geven een goed beeld van de ruimtelijke opzet en het huidige gebruik van de kelder.

Tijdens het rondlopen viel op dat een groot deel van de kelder vol staat met spullen voor de logistiek. De opslagmaterialen zijn verspreid over verschillende ruimtes en nemen een aanzienlijk deel van het vloeroppervlak in beslag. maar het gaat vooral om losse spullen die makkelijk verplaatst kunnen worden. In principe kun je het grootste deel van deze ruimtes dus vrijmaken zonder dat je daarvoor iets hoeft te verbouwen.

Daarnaast zijn er stukken in de kelder die nu helemaal niet worden gebruikt en op slot zitten. Dit gaat vooral om de oost- en westvleugel; daar is de staat van onderhoud ook een stuk minder. Uit gesprekken met de mensen van het Logistiek Punt bleek dat deze ruimtes momenteel dicht zijn omdat deze delen niet zijn meegenomen met de renovatie. In de rest van de kelder ziet het er beter uit en worden de ruimtes gewoon dagelijks gebruikt.

Verder kwam uit de observaties en de gesprekken naar voren dat de waterdichtheid op sommige plekken een probleem is. Als het hard regent, kan er hier en daar vocht of lekkage door de kelderwanden naar binnen komen. Dit is belangrijke praktijkinformatie die zeker mee gewogen moet worden als er gekeken wordt of de kelder geschikt is als schuilruimte.

Deze observaties vormen directe input voor variabelen zoals bruikbare ruimte, onderhoudsstaat en waterdichtheid binnen het geschiktheidsmodel.



Figuur 4: Foto's zelfinspectie gangen en afgesloten ruimtes met waterschade

4. Literatuuronderzoek

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste richtlijnen en eisen besproken die in de literatuur te vinden is met betrekking tot schuilkelders en korte verblijfstijden onder noodomstandigheden. De bedoeling van dit hoofdstuk is het vinden en onderbouwen van de factoren die meespelen of een kelder als schuilkelder kan functioneren, en deze linken aan categorieën en variabelen van het geschiktheidsmodel. De gevonden literatuur is gericht op de fysieke, technische en organisatorische aspecten die relevant zijn voor het gebruik van schuilruimtes bij kortdurend schuilgebruik.

4.1 Type schuilgebruik en verblijfsduur

Voordat specifieke criteria worden besproken, is het belangrijk te definiëren wat onder schuilgebruik wordt verstaan. De literatuur maakt onderscheid tussen kortdurende bescherming tijdens acute dreigingen en langdurige verblijfsopties. In dit onderzoek is gekozen voor kortdurend schuilgebruik, wat betekent dat personen tijdelijk onderdak zoeken tijdens een dreiging en daarna terugkeren naar de normale omgeving. Dit komt overeen met de functionele definitie van safe rooms in FEMA-publicaties, waarin schuilruimtes worden omschreven als ruimten die bescherming bieden op het moment dat een gevaar zich voordoet en niet continu worden gebruikt *(FEMA 435, 2006)*.

Deze benadering is relevant voor civiel gebruik bij luchtalarmen of andere acute dreigingen: de bescherming hoeft niet dagen of weken te waarborgen, maar uren tijdens de piek van het gevaar. Daarom zijn in het geschiktheidsmodel normen gekozen die passen bij dit korte beschermingsscenario.

4.2 Ruimte per persoon en bezettingsdichtheid

Een fundamenteel criterium voor de beoordeling van schuilruimtes is de benodigde vloeroppervlakte per persoon. FEMA 453 geeft richtlijnen voor het ontwerp van schuilruimtes, inclusief aanbevelingen voor bezettingsdichtheid en functionele oppervlakte. Hoewel de richtlijn geen harde groep-specifieke getallen voorschrijft voor elke context, vormt de publicatie een erkende basis voor het vaststellen van minimale ruimtevereisten om gezond en veilig tijdelijk verblijf mogelijk te maken.

In veel toepassingen wordt een minimale oppervlakte van rond 0,56 m^2 per persoon gebruikt voor zittende volwassenen bij kort verblijf (bijvoorbeeld tornado shelters), hetgeen overeenkomt met de ondergrenzen in FEMA-richtlijnen. Deze minimale norm wordt in dit onderzoek gebruikt als referentiepunt in de variabele capaciteit en ruimte binnen het model.

4.3 Ventilatie en luchtkwaliteit

Ventilatie is in alle richtlijnen aanwezig als een noodzakelijke voorwaarde voor het gebruik van een schuilruimte. Zonder voldoende luchtverversing kunnen CO_2-

concentraties en andere verontreinigingen snel toenemen, wat de gezondheid en het comfort van gebruikers negatief beïnvloedt. FEMA 453 benadrukt dat veilige luchtaanvoer en afvoer essentieel zijn, vooral bij een hoge bezetting gedurende noodsituaties.

Daarnaast worden in Bouwbesluit- en NEN-normen minimumeisen gesteld aan ventilatie voor verblijfsruimten, die uitgangspunten bieden voor de beoordeling van luchtkwaliteit in ondergrondse ruimtes (zoals NEN 1087). Deze normen zijn bedoeld om een minimum aan luchtverversing te garanderen en vormen een referentie voor het toekennen van scores in de variabele verblijfsomstandigheden.

4.4 Constructieve veiligheid en robuustheid

Constructieve veiligheid is volgens de literatuur een randvoorwaarde voor schuilplaatsen. Het idee dat een ruimte eerst fysiek bestand moet zijn tegen externe belastingen voordat andere criteria relevant worden, komt terug in veel handboeken en richtlijnen over shelters. In FEMA 453 wordt benadrukt dat veilige constructie een uitgangspunt is; zonder voldoende structurele integriteit kan een ruimte geen betrouwbare bescherming bieden.

Hoewel gedetailleerde berekeningen buiten het bereik van deze literatuur liggen, ondersteunen de richtlijnen het principe dat aspecten zoals wand- en vloerdikte, type structuur en materiaalkeuze een duidelijke rol spelen bij de stabiliteit van een kelder. Dit vormt de basis voor de variabele constructieve veiligheid in het model.

4.5 Toegankelijkheid en ontsluiting

De literatuur toont dat toegankelijkheid ook belangrijk is als het over shelters gaat. FEMA 453-documenten vermelden dat een shelter goed bereikbaar moet zijn voor de gebruikers tijdens een noodsituatie, en dat vluchtwegen en toegangspunten belangrijk zijn om snelle en veilige instroom mogelijk te maken.

De effectiviteit van een schuilruimte wordt namelijk niet alleen bepaald door de fysieke eigenschappen van de ruimte, maar ook door de snelheid en eenvoud waarmee mensen deze kunnen bereiken en verlaten. Dit inspireert de categorie organisatie en toegankelijkheid in het model.

4.6 Basisvoorzieningen

Basisvoorzieningen zoals verlichting, drinkwater en sanitaire voorzieningen worden in de literatuur genoemd als secundaire maar nog steeds belangrijke aspecten voor tijdelijke schuilruimtes. In FEMA 453 en andere praktische handleidingen wordt aangegeven dat verlichting en basiscomfortfactoren bijdragen aan de bruikbaarheid van een shelter gedurende de duur van een dreiging.

Voor kortdurend verblijf kan worden volstaan met tijdelijke of noodvoorzieningen, wat aansluit bij de manier waarop deze variabelen in het model zijn meegewogen.

4.7 Samenvatting en relatie met het geschiktheidsmodel

Samengevat laten de besproken richtlijnen zien dat de geschiktheid van een schuilruimte afhangt van een combinatie van factoren rond capaciteit, ventilatie, constructieve veiligheid, toegankelijkheid en voorzieningen. Deze inzichten vormen de basis voor de categorieën en variabelen van het geschiktheidsmodel dat in hoofdstuk 5 wordt besproken. De gekozen literatuur ondersteunt de methodologische keuzes en de focus op kortdurend schuilgebruik, passend bij het beoogde scenario van dit onderzoek.

5. Het geschiktheidsmodel

5.1 Doel en nut van het model

Om bestaande kelders nauwkeurig te kunnen beoordelen in hoeverre zij geschikt zijn om als schuilkelder te dienen en om deze met elkaar te vergelijken, is een beoordelingsmodel ontwikkeld dat bestaat uit verschillende categorieën en variabelen die hieronder nog toegelicht zullen worden. Met behulp van dit model zou theoretisch elke kelder in Nederland onderzocht kunnen worden, waarmee een overzicht gecreëerd kan worden van geschikte en potentiële schuilkelders in Nederland. Gezien de recente geopolitieke ontwikkelingen kan een dergelijk overzicht in de nabije toekomst een relevant hulpmiddel vormen voor eerste inventarisaties en besluitvorming.

Dit model berekent aan de hand van verschillende variabelen en bijbehorende weegfactoren scores voor hoe geschikt een kelder is om te dienen als schuilkelder. Door al deze scores bij elkaar op te tellen, ontstaat een uiteindelijke totale 'geschiktheidsindex' die aangeeft in hoeverre deze kelder kan functioneren als schuilkelder.

Doordat in het model veel verschillende data wordt ingevoerd die afzonderlijke deelscores opleveren, kan ook inzichtelijk worden gemaakt waar de kelder goed op scoort en waar ruimte is voor aandacht en eventuele renovaties of verbeteringen. Ook dit is een zeer nuttige functie van het model.

5.1.1 Uitgangspunt: kortdurend schuilgebruik

Bij de opzet van het geschiktheidsmodel is specifiek gekozen voor kortdurend schuilgebruik als basis. De aanname hierbij is dat personen de schuilkelder alleen betreden voor de duur van een directe dreiging. In de praktijk varieert dit meestal van enkele tientallen minuten tot een paar uur, waarna de ruimte direct wordt verlaten zodra de situatie weer veilig is.

Dit scenario sluit aan bij het schuilgedrag dat we zien in recente conflicten, zoals in Oekraïne. Daar gebruiken burgers schuilplaatsen tijdelijk op basis van luchtalarmen om daarna weer terug te keren naar hun dagelijkse bezigheden (Civil defense siren, 2025; FEMA, 2020). In deze context fungeert een kelder dus puur als bescherming tegen een acute dreiging en niet als een plek voor langdurige opvang.

Door dit uitgangspunt te hanteren, is in dit onderzoek getoetst aan richtlijnen die passen bij een kort verblijf, zoals de FEMA-normen voor de minimale ruimte per persoon en de benodigde basisvoorzieningen. Normen voor permanente opvang of langdurig verblijf zijn hierbij bewust buiten beschouwing gelaten, omdat deze niet relevant zijn voor het beoogde gebruiksscenario van dit model.

5.2 Categorieën en Variabelen

Om kelders echt goed te kunnen vergelijken, zijn de verschillende variabelen voor het model hiërarchisch opgedeeld in vier hoofdcategorieën. Elk van deze categorieën dekt weer een ander aspect van 'geschiktheid' om te kunnen dienen als schuilkelder en leidt gezamenlijk tot een deelscore. Dit zijn de vier cruciale categorieën die gekozen zijn aan de hand van literatuuronderzoek:

1. **Constructieve Veiligheid:** In hoeverre kan de kelder externe belastingen en schade-invloeden weerstaan.
2. **Capaciteit en ruimte:** In hoeverre is voldoende bruikbare ruimte beschikbaar voor tijdelijke opvang.
3. **Verblijfsomstandigheden:** Dit zorgt ervoor dat mensen het gedurende een noodsituatie op een verantwoorde manier enkele uren kunnen volhouden.
4. **Organisatie en Toegankelijkheid:** In hoeverre zijn instroom, routing en evacuatie praktisch uitvoerbaar.

Tabel 2 geeft een volledig overzicht van de categorieën en variabelen die in het geschiktheidsmodel zijn opgenomen, inclusief het type variabele, de beoordelingswijze, de gebruikte bronnen en de score.

Categorie	Variabele	Type variabele	Eenheid / schaal	Bron / onderbouwing	Score
Constructieve veiligheid	Wand- en vloerdikte	Kwantitatief	cm	DNA-dossier Bouwkunde	**7,5**
Constructieve veiligheid	Waterdichtheid	Kwalitatief	Rubric (1–10)	Bouwkundige inspectie	**3,0**
Constructieve veiligheid	Algemene constructieve staat	Kwalitatief	Rubric (1–10)	Visuele inspectie	**7,5**
Capaciteit en ruimte	Netto bruikbaar vloeroppervlak	Kwantitatief	m^2	DNA-dossier + inspecties	**10,0**
Capaciteit en ruimte	Vrije hoogte	Kwantitatief	m	Bouwbesluit	**10,0**

Categorie	Variabele	Type variabele	Eenheid / schaal	Bron / onderbouwing	Score
Verblijfs-omstandigheden	Ventilatie-capaciteit	Kwalitatief	Rubric (1–10)	FEMA 453 / NEN 1087	**4,0**
Verblijfs-omstandigheden	Drinkwater-voorziening	Binaire variabele	Aanwezig / afwezig	DNA-dossier	**1,0**
Verblijfs-omstandigheden	Sanitair voorzieningen	Kwalitatief	Rubric (1–10)	Inspectie	**1,0**
Verblijfs-omstandigheden	Nood-verlichting	Binaire variabele	Aanwezig / afwezig	Inspectie	**3,0**
Organisatie en toegankelijkheid	Vluchtroutes en interne routing	Kwalitatief	Rubric (1–10)	Inspectie	**7,0**
Organisatie en toegankelijkheid	Afsluitbaarheid en beheer	Kwalitatief	Rubric (1–10)	Gesprekken gebouwbeheer	**5,5**
Organisatie en toegankelijkheid	Aanwezigheid noodprocedures	Binaire variabele	Aanwezig / afwezig	Documentatie	**7,0**

Tabel 2: Overzicht categorieën en variabelen geschiktheidsmode

5.3 Weegfactoren

Niet alle aspecten dragen in gelijke mate bij aan de geschiktheid van een kelder als schuilruimte. Op basis van literatuur over schuilruimtes en noodvoorzieningen, aangevuld met engineering judgement en input uit een validatiegesprek, zijn per hoofdcategorie weegfactoren vastgesteld. Daarbij is constructieve veiligheid als meest bepalende randvoorwaarde aangemerkt, aangezien een kelder zonder voldoende structurele robuustheid per definitie niet geschikt is voor schuilgebruik.

De definitieve weegfactoren van de vier hoofdcategorieën zijn als volgt verdeeld:

- **Constructieve veiligheid: 39%**
- **Capaciteit en ruimte: 23%**
- **Verblijfsomstandigheden: 19%**
- **Organisatie en toegankelijkheid: 19%**

Capaciteit en ruimte wegen zwaar mee vanwege de directe relatie met het aantal personen dat daadwerkelijk kan worden opgevangen. Verblijfsomstandigheden en

organisatie en toegankelijkheid zijn lager gewogen, omdat deze aspecten bij kortdurend schuilgebruik vooral ondersteunend zijn en niet primair bepalend voor overleving, maar wel een duidelijke invloed hebben op de praktische inzetbaarheid van de ruimte.

De resulterende geschiktheidsindex moet worden geïnterpreteerd als een relatieve maat, bedoeld om kelders onderling te vergelijken en om sterke en zwakke punten inzichtelijk te maken. De index vormt geen absolute veiligheidsbeoordeling en kan niet worden opgevat als een certificering van geschiktheid. Deze interpretatie wordt meegenomen bij de bespreking en evaluatie van de resultaten.

5.4 Scoringssystematiek

Om te voorkomen dat de beoordeling van kelders berust op subjectieve inschattingen, is een vaste en eenduidige scoringssystematiek toegepast. Deze systematiek maakt het mogelijk om kelders op een reproduceerbare manier te beoordelen: bij gelijke input leidt het model tot dezelfde uitkomst, ongeacht wie de beoordeling uitvoert.

Binnen het model wordt onderscheid gemaakt tussen drie typen variabelen, die elk op een specifieke manier worden vertaald naar een score op een schaal van 0 tot 10. Een hogere score duidt op een hogere mate van geschiktheid voor schuilgebruik binnen het betreffende aspect of de bijbehorende categorie, terwijl een lage score aangeeft dat het aspect een beperkende factor vormt.

5.4.1 Kwantitatieve variabelen

Kwantitatieve variabelen zijn eigenschappen die meetbaar zijn en uitgedrukt kunnen worden in een getal, zoals meters, liters of procenten. Voor deze variabelen wordt gebruikgemaakt van een lineaire interpolatieformule. Het uitgangspunt hierbij is dat een kelder die exact voldoet aan de gehanteerde norm een score van 10 ontvangt. Naarmate de gemeten waarde lager ligt dan deze norm, neemt de score lineair af.

Voor alle kwantitatieve variabelen in dit model geldt het principe *hoe meer, hoe beter*, tot aan de vastgestelde normwaarde. Voorbeelden hiervan zijn vrije hoogte, bruikbaar vloeroppervlak en ventilatiecapaciteit. De score wordt berekend met de volgende formule:

$$\boldsymbol{Score} = \mathbf{min}\left(\mathbf{10}, \left(\frac{\boldsymbol{Bouwkunde\ Waarde}}{\boldsymbol{Ideale\ Norm}}\right) \times \mathbf{10}\right)$$

De normwaarden zijn vastgesteld op basis van relevante literatuur en richtlijnen voor schuilruimtes en verblijfsruimten, waaronder FEMA 453 en Nederlandse referentiekaders zoals NEN-normen en het Bouwbesluit. Om te voorkomen dat uitzonderlijk hoge waarden leiden tot onrealistisch hoge scores, is de score begrensd tot 10.

Ter illustratie: wanneer de norm voor vrije hoogte 2,60 m bedraagt en de gemeten hoogte 2,20 m is, resulteert dit in een score van (2,20 / 2,60) × 10 = 8,5.

Voor sommige variabelen bleek tijdens de nadere technische analyse dat geen betrouwbare meetgegevens beschikbaar waren om een kwantitatieve beoordeling uit te voeren. In dergelijke gevallen is de variabele alsnog beoordeeld als observeerbaar (zie hieronder), waarbij de score is gebaseerd op aantoonbare aanwezigheid, spreiding en functionele geschiktheid in plaats van gemeten capaciteit. Deze werkwijze is toegepast bij de ventilatiecapaciteit van de kelder van Bouwkunde.

5.4.2 Kwalitatieve variabelen

Niet alle relevante aspecten laten zich eenduidig kwantificeren. Voor variabelen zoals onderhoudsstaat, veiligheid van ontsluitingen en algemene bruikbaarheid is daarom gewerkt met een vaste beoordelingsschaal (rubric). Deze rubric zorgt ervoor dat kwalitatieve beoordelingen op een consistente manier worden uitgevoerd.

De volgende vijf scores zijn gehanteerd:

- **Score 10 (Uitstekend):** Voldoet volledig aan de eisen. Er zijn geen gebreken en de ruimte is direct inzetbaar.
- **Score 7,5 (Voldoende):** Voldoet grotendeels aan de eisen. Er zijn kleine gebreken aanwezig die eenvoudig verholpen kunnen worden.
- **Score 5,5 (Twijfelachtig):** Voldoet net niet aan de eisen. Er zijn structurele ingrepen nodig om de ruimte geschikt te maken.
- **Score 3 (Onvoldoende):** Er zijn ernstige gebreken aanwezig waardoor (delen van) de ruimte niet bruikbaar zijn.
- **Score 1 (Onacceptabel):** De situatie is ongeschikt of potentieel gevaarlijk, bijvoorbeeld bij instortingsgevaar of het ontbreken van essentiële ontsluitingen.

Bij toepassing van deze scores in de casestudy is iedere beoordeling onderbouwd met een korte toelichting in de kolom *Opmerkingen*, om transparantie en herleidbaarheid te waarborgen.

5.4.3 Binaire variabelen

Naast kwantitatieve en kwalitatieve variabelen bevat het model ook binaire variabelen. Dit betreft aspecten die wel of niet aanwezig zijn, zoals de aanwezigheid van noodstroomvoorzieningen of een vastgesteld evacuatieplan.

Voor deze variabelen geldt:

- **Aanwezig:** score 10
- **Niet aanwezig:** score 1

Een minimale score van 1 wordt gehanteerd om te voorkomen dat het ontbreken van één enkele voorziening de totale geschiktheidsindex volledig domineert, terwijl andere aspecten mogelijk wel voldoende scoren.

Door deze drie scoringsmethoden consequent toe te passen, ontstaat een transparante en reproduceerbare geschiktheidsindex die een realistisch beeld geeft van de mate waarin een kelder geschikt is voor schuilgebruik.

5.5 Toelichting beoordeling per hoofdcategorie

In dit subhoofdstuk wordt toegelicht hoe de scores voor constructieve veiligheid en organisatie en toegankelijkheid zijn bepaald. De beoordeling van capaciteit en ruimte is reeds kwantitatief uitgewerkt in hoofdstuk 6, terwijl de verblijfsomstandigheden elders in het rapport uitgebreid aan bod komen. Voor de volledigheid worden de beoordelingskeuzes voor deze twee categorieën hier expliciet gemaakt.

Constructieve veiligheid
De beoordeling van constructieve veiligheid is gebaseerd op een combinatie van beschikbare gebouwdocumentatie, literatuur over schuilconstructies en visuele inspecties ter plaatse. Er zijn geen gedetailleerde constructieve berekeningen uitgevoerd. Daarmee heeft de beoordeling heeft indicatief karakter en is gericht op het inschatten van de robuustheid van de kelder als schuilruimte.
Hierbij is gekeken naar het type draagconstructie, de massiviteit van vloeren en wanden en de algemene staat van onderhoud. De kelder bevindt zich onder een traditioneel, massief gebouw met dragende wanden en zware vloeren, wat positief bijdraagt aan de structurele robuustheid.
Tegelijkertijd is waterdichtheid expliciet meegenomen als aandachtspunt. Tijdens inspecties is vastgesteld dat bij hevige neerslag lokaal vocht en lekkage via wanden en voegen de kelder binnendringt. Dit beperkt de betrouwbaarheid van de kelder onder extreme omstandigheden en drukt de toegekende score.

Organisatie en toegankelijkheid
De categorie organisatie en toegankelijkheid richt zich op de praktische inzetbaarheid van de kelder tijdens een noodsituatie. Hierbij is gekeken naar de bereikbaarheid, de spreiding van toegangen en de mate waarin instroom en afsluiting beheersbaar zijn.
De beoordeling is gebaseerd op plattegronden uit het DNA-dossier, aangevuld met observaties en gesprekken met gebouwbeheer. De kelder beschikt over meerdere trappenhuizen en toegangen naar de begane grond, wat positief bijdraagt aan de fysieke toegankelijkheid.
Hoewel ontruimingsplannen en vluchtroutes aanwezig zijn, zijn deze gericht op reguliere evacuatie en niet op schuilgebruik. Met name de beperkte afsluitbaarheid van één trappenhuis bemoeilijkt het sturen van instroom en routing. De uiteindelijke score

weerspiegelt daarmee een situatie waarin de basis aanwezig is, maar de organisatie en afsluitbaarheid onvoldoende zijn afgestemd op een schuilscenario.

5.6 Aannames en beperkingen van het model

Het ontwikkelde geschiktheidsmodel is opgezet als een indicatief beoordelingsinstrument en kent daarmee een aantal expliciete aannames en beperkingen. Deze zijn inherent aan het doel van het model, dat is gericht op het systematisch en reproduceerbaar beoordelen van bestaande kelders voor schuilgebruik en het inzichtelijk maken van waar gerichte, kleinschalige ingrepen de geschiktheid kunnen vergroten.

Een eerste belangrijke aanname is dat het model is gebaseerd op kortdurend schuilgebruik. De gehanteerde normen en wegingen zijn afgestemd op scenario's waarin personen gedurende een beperkte tijd in de kelder verblijven om bescherming te zoeken tegen een acute dreiging. Normen die betrekking hebben op langdurige opvang of permanente bewoning zijn daarom bewust buiten beschouwing gelaten.

Daarnaast maakt het model gebruik van een combinatie van kwantitatieve gegevens, bestaande documentatie en visuele inspecties. Voor sommige variabelen, met name binnen de categorieën constructieve veiligheid en organisatie en toegankelijkheid, zijn exacte technische gegevens niet volledig beschikbaar. In deze gevallen is gewerkt met kwalitatieve beoordelingen op basis van een vaste rubric. Dit brengt een zekere mate van subjectiviteit met zich mee, hoewel deze zoveel mogelijk is beperkt door consistente beoordelingscriteria en expliciete toelichtingen.

Het model bevat geen gedetailleerde constructieve berekeningen of simulaties, zoals blast-analyses of geavanceerde numerieke modellen. De constructieve veiligheid wordt op hoofdlijnen beoordeeld en dient vooral als eerste indicatie. Voor een definitieve beoordeling of certificering zou aanvullend specialistisch onderzoek noodzakelijk zijn.

Tot slot is het model in dit onderzoek toegepast op één casus, namelijk de kelder van de faculteit Bouwkunde. De resultaten geven daarmee inzicht in de toepasbaarheid van het model, maar zijn niet zonder meer te generaliseren naar andere gebouwen of situaties. Desondanks biedt het model een bruikbaar raamwerk om kelders onderling te vergelijken en om prioriteiten voor mogelijke verbetermaatregelen inzichtelijk te maken, mits het wordt gebruikt binnen de grenzen waarvoor het is ontworpen.

6. Resultaten / Testen van het model

6.1 Invoer en aannames

Om het model te testen voor de casus Bouwkunde moet alle input vastgesteld worden. Dit kan grotendeels gedaan worden met behulp van het DNA-dossier en andere literatuur. Een eerste stap is het omzetten van bruto naar netto kelderoppervlak om de capaciteit uit te rekenen.

Zoals eerder gezegd zijn er delen van de kelder die structureel zijn afgesloten dus zullen deze niet mee worden gerekend voor de effectieve kelderoppervlakte. Met behulp van de plattegronden kan er afgeleid worden dat dit 352 m^2 is voor de Westvleugel en 446 m^2 voor de Oostvleugel.

Verder is op basis van meerdere visuele inspecties geschat dat circa 40% van het kelderoppervlak wordt beperkt door opslag en vaste installaties en daardoor niet direct inzetbaar is voor schuilgebruik.

Stap	Onderdeel	Oppervlakte (m^2)	Toelichting / bron
1	Bruto kelderoppervlakte (totaal)	7910	Op basis van DNA-dossier (Zie tabel 1)
2	Afgesloten delen westvleugel	−352	Structureel afgesloten, afgeleid uit plattegronden
3	Afgesloten delen oostvleugel	−446	Structureel afgesloten, afgeleid uit plattegronden
4	Resterend kelderoppervlak	*7112*	Na aftrek afgesloten delen
5	Opslag en vaste installaties (±40%)	-2844.8	Geschat op basis van visuele inspecties
6	**Netto bruikbare kelderoppervlakte**	***= 4267.2***	Gebruikt voor capaciteitsbepaling

Tabel 3: Van bruto naar netto bruikbare kelderoppervlakte m^2

Op basis van deze aannames wordt in de verdere analyse en in het model gerekend met een conservatief aangenomen netto bruikbaar kelderoppervlak van 4.000 m^2. Dit oppervlak is grotendeels nauwkeurig bepaald aan de hand van de beschikbare plattegronden, waarbij de totale kelderoppervlakte per bouwdeel is opgemeten. De

belangrijkste onzekerheid zit in de aanname dat circa 40% van het vloeroppervlak wordt ingenomen door opslag en vaste installaties. Deze factor is bewust ruim ingeschat, waardoor met voldoende marge wordt gerekend. Deze netto bruikbare oppervlakte vormt de basis voor de capaciteitsbepaling en de scoring van de variabelen binnen de categorie capaciteit en ruimte.

6.2 Capaciteit (aantal personen)

Om op basis van de netto bruikbare kelderoppervlakte de capaciteit van de kelder in een noodsituatie te bepalen, is gebruikgemaakt van de richtlijnen uit FEMA 453, *Design Guidance for Shelters and Safe Rooms*. Deze richtlijn geeft normen voor kortdurend schuilen in noodsituaties.

Volgens FEMA 453 is voor een zittende volwassene bij kortdurend schuilen een minimale vloeroppervlakte van 6 ft^2 per persoon vereist, wat overeenkomt met 0,56 m^2 per persoon. Deze waarde is in dit onderzoek gebruikt als ondergrens voor de capaciteitsbepaling. Hierbij is expliciet uitgegaan van een kortdurend schuilscenario, conform de uitgangspunten van FEMA 453.

De capaciteit van de kelder van de faculteit Bouwkunde wordt daarmee berekend als:

$$\boldsymbol{Capaciteit\ Bouwkunde\ Kelder} = \boldsymbol{A_{effectief}/A_{per\ persoon}}$$

$$\boldsymbol{Capaciteit\ Bouwkunde\ Kelder} = \boldsymbol{4000/0.56} = \boldsymbol{7143\ personen}$$

Deze uitkomst betreft een theoretische maximale capaciteit op basis van vloeroppervlak en houdt geen rekening met aanvullende beperkingen zoals logistiek, spreiding van mensen, vrije hoogte of de daadwerkelijke bezettingsdynamiek. De berekende capaciteit wordt daarom uitsluitend gebruikt als indicatie binnen het geschiktheidsmodel.

Voor de beoordeling van de vrije hoogte zijn de minimumeisen voor verblijfsruimten uit het Bouwbesluit 2012 als referentiekader gehanteerd.

6.2.1 Verwachte bezetting op een doordeweekse dag

Om de berekende theoretische capaciteit te kunnen plaatsen, is ook een schatting gemaakt van het aantal personen dat op een normale doordeweekse dag gelijktijdig in het gebouw aanwezig is. Het DNA-dossier vermeldt voor gebouw 08 in 2017 een omvang van 2771 studenten en 374 FTE medewerkers.

De aantallen uit het DNA-dossier zijn gebaseerd op gegevens van circa acht jaar geleden en geven daarmee geen actueel beeld van het huidige gebruik van het gebouw. Om hier rekening mee te houden is in dit onderzoek bewust gerekend met afgeronde en verhoogde aantallen, zodat een conservatieve schatting met voldoende marge wordt aangehouden. Daarbij is uitgegaan van 2900 studenten en 400 medewerkers.

Voor de bepaling van de gelijktijdige bezetting is gerekend met een druk scenario, waarbij wordt aangenomen dat op een doordeweekse dag ongeveer 60% van de studenten en 80% van de medewerkers gelijktijdig aanwezig is, aangevuld met een beperkte groep bezoekers. Dit komt neer op circa 1740 studenten (60% van 2900) en 320 medewerkers (80% van 400). Inclusief een geschatte 150 bezoekers resulteert dit in een gelijktijdige bezetting van afgerond **2200 personen.**

Deze waarde wordt in dit onderzoek gebruikt als representatieve bovengrens voor de te verwachten vraag naar schuilcapaciteit. Vergeleken met de berekende theoretische capaciteit van de kelder blijkt dat de beschikbare ruimte ruimschoots voldoende is om deze groep op te vangen bij kortdurend schuilgebruik. De capaciteit vormt daarmee geen beperkende factor binnen de beoordeling; de geschiktheid wordt in hoofdzaak bepaald door de aanwezige voorzieningen.

Omdat de berekende schuilcapaciteit ruimschoots groter is dan de verwachte gelijktijdige bezetting van het gebouw, blijft er bovendien een aanzienlijke capaciteitsmarge over. Deze marge biedt in theorie ruimte om, naast gebouwgebruikers, ook een beperkte groep personen uit de directe omgeving op te vangen, zonder dat dit de beoordeling van de kelder wezenlijk beïnvloedt.

6.3 Scores per variabele en categorie

Als je alle data voor de variabelen voor de kelder van de Bouwkunde kelder invult krijg je de volgende resultaten:

Categorie	**Gemiddelde score (0–10)**
1. Constructieve veiligheid	6,69
2. Capaciteit en ruimte	10,00
3. Verblijfsomstandigheden	2,50
4. Organisatie en toegankelijkheid	6,61
Totale geschiktheidsindex	**6,60**

Tabel 4: Gemiddelde score per categorie casus Bouwkunde-kelder

Wat opvalt is dat de Bouwkunde kelder een 10,0 scoort voor ”Capaciteit en ruimte”. Dit kan worden verklaard door de grote beschikbare netto kelderoppervlakte in combinatie met een voldoende vrije hoogte volgens de gehanteerde referentienormen.

“Constructieve veiligheid” (6,69) en “Organisatie en toegankelijkheid” (6,61) scoren gemiddeld hoog wat betekent dat de kelder op deze aspecten redelijk scoort, maar dat verdere optimalisatie mogelijk is.

Wat echter zwaar ondermaats scoort is de categorie “Verblijfsomstandigheden” (2,50), wat betekent dat vooral voorzieningen zoals ventilatie, sanitair en water de uitkomst beperken.

De score voor ventilatiecapaciteit is geactualiseerd op basis van de aanvullende technische analyse in hoofdstuk 7. Daarbij is de variabele her geclassificeerd van kwantitatief naar observeerbaar, omdat geen meetbare luchtdebieten konden worden vastgesteld.

Hieronder is een tabel weergegeven welke variabelen het laagst scoren:

Variabele	**Score (0–10)**	**Toelichting**
Ventilatiecapaciteit (L/s/p)	4,00	Ventilatie is aanwezig, maar niet aantoonbaar geschikt voor nood-/overbezettingsscenario.
Sanitair (toiletten per capaciteit)	1,00	Geen wc in de aanwezig.
Noodvoorzieningen (noodverlichting/stroom)	1,00	Geen noodstroom/voorzieningen voor noodgebruik.
Watervoorziening	3,00	Reguliere drinkwatervoorziening aanwezig, echter beperkt tot één keuken met een kraan.

Tabel 5: Belangrijkste beperkende variabelen casus Bouwkunde-kelder

De weergegeven scores betreffen de geactualiseerde waarden na de aanvullende technische analyse van het ventilatiesysteem zoals beschreven in hoofdstuk 7.

Op basis van de gewogen optelling volgt een totale geschiktheidsindex van **6,60.**

Uit de analyse blijkt dat de kelder van Bouwkunde constructief en qua effectieve oppervlakte zeker potentie heeft, maar dat de praktische inzetbaarheid direct strandt op de voorzieningen. Het is duidelijk dat het gebouw puur is ontworpen voor onderwijs en kantoorwerk. De kelder is daarbij nooit ingericht op het verblijf van grote groepen mensen om te schuilen. De uiteindelijke score wordt dan ook niet omlaag gehaald door een gebrek aan ruimte, maar door kritieke tekortkomingen in de ventilatiecapaciteit en het gebrek aan sanitair en noodvoorzieningen.

Hoewel de resultaten afhankelijk zijn van de gekozen normen voor de netto oppervlakte per persoon, is de conclusie helder: de verblijfsomstandigheden in de kelder zijn momenteel de grootste bottleneck. Deze index moet daarom niet worden gezien als een

simpel "ja of nee", maar als een instrument dat exact blootlegt waar het verbeterpotentieel zit om een schuilfunctie mogelijk te maken.

Dit sluit aan bij de feedback uit het validatiegesprek, waarin is benadrukt dat de totaalscore vooral als indicatie moet worden gebruikt en dat lage deelaspecten afzonderlijk aandacht vragen (zie Bijlage C).

Hoofdstuk 7 – Technische uitwerking ventilatiesysteem kelder Bouwkunde

7.1 Aanleiding en doel van de technische uitwerking

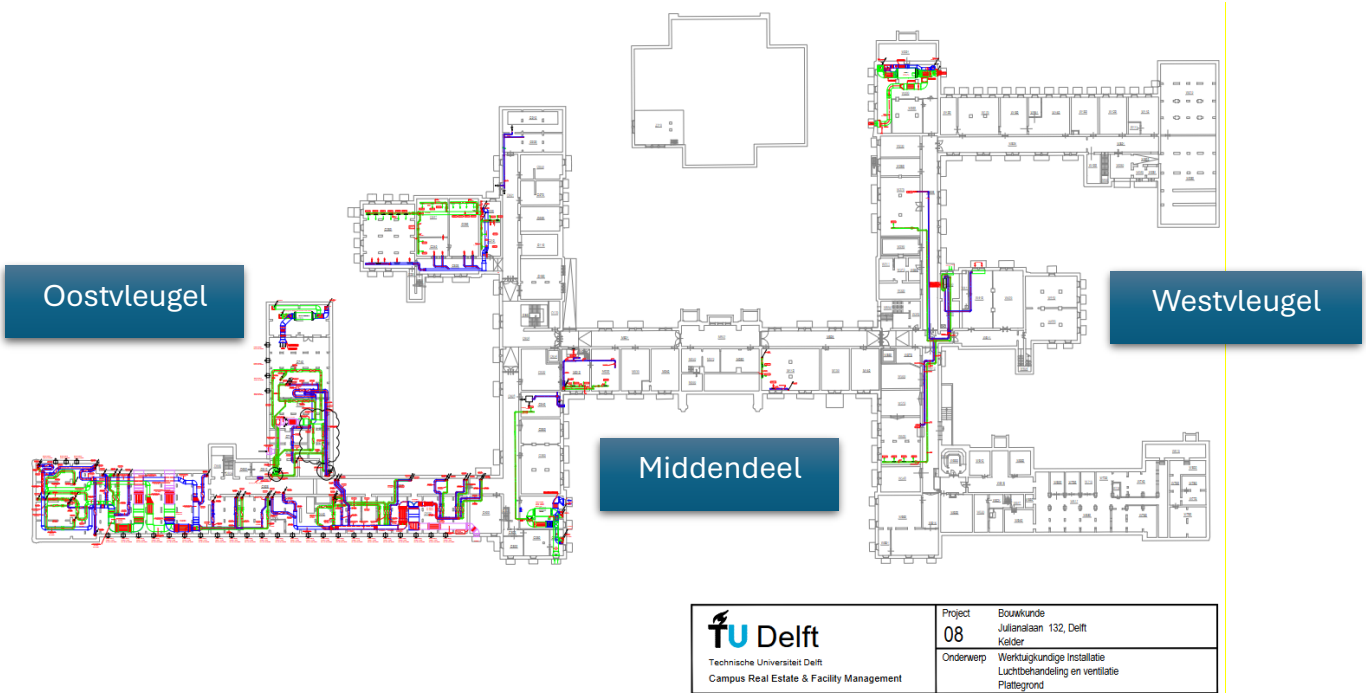
In de oorspronkelijke beoordeling van de verblijfsomstandigheden binnen het geschiktheidsmodel scoorde de variabele ventilatiecapaciteit van de kelder van de faculteit Bouwkunde laag. Deze beoordeling was gebaseerd op het ontbreken van aantoonbare gegevens over de ventilatiecapaciteit in nood- en overbezettingsscenario's.

Na aanvullend onderzoek is via Campus Real Estate & Facility Management extra documentatie verkregen, waaronder installatietekeningen van het gebouw. Uit deze tekeningen blijkt dat in delen van de kelder wel degelijk een regulier mechanisch ventilatiesysteem aanwezig is. Dit betekent dat de ventilatie opnieuw technisch beoordeeld moet worden.

Deze verdieping heeft als doel om te beoordelen in hoeverre de bestaande installatie geschikt is voor kortdurend schuilgebruik. Daarbij wordt duidelijk onderscheid gemaakt tussen ventilatie voor normaal dagelijks gebruik en ventilatie die nodig is wanneer zich tijdelijk een grote groep mensen in de kelder bevindt. Het gaat hierbij niet om het volledig herontwerpen van het systeem, maar om het inzichtelijk maken van de technische beperkingen en mogelijke risico's bij inzet als schuilruimte. Deze analyse vormt de onderbouwing van de toegekende score in het model en laat zien dat de aanwezigheid van een standaard ventilatiesysteem niet automatisch betekent dat de kelder veilig inzetbaar is tijdens een noodsituatie.

7.2 Beschrijving van het bestaande ventilatiesysteem

Analyse van de installatietekeningen wijst uit dat de kelder van de faculteit Bouwkunde beschikt over een centraal mechanisch ventilatiesysteem. Dit systeem werkt met hoofdkanalen voor de toe- en afvoer van lucht, welke direct zijn aangesloten op centrale luchtbehandelingsinstallaties (LBK's). Zoals weergegeven in de onderstaande figuur, bevindt de belangrijkste infrastructuur zich in de oostvleugel.



Figuur 5: Overzicht van ventilatiekanalen en andere werktuigkundige installaties in de kelder van de faculteit Bouwkunde. De concentratie van toevoer- en afvoerkanalen is voornamelijk zichtbaar in de oostvleugel (TU Delf, 2019)

De luchtbehandeling verloopt via verticale schachten, waarbij de toevoer- en retourpunten vooral de zones bedienen waar dagelijks intensieve functies plaatsvinden, zoals de werkplaatsen. In de westelijke en centrale delen van de kelder is de dichtheid van deze voorzieningen echter aanzienlijk lager. Veel van deze zones zijn voor hun luchtverversing afhankelijk van indirecte stromen uit aangrenzende ruimten. Het huidige ontwerp is volledig gebaseerd op een reguliere, lage bezettingsgraad. Uit de beschikbare revisiegegevens blijkt nergens dat de installatie is uitgerust met een noodstand of de nodige overcapaciteit voor situaties waarin grote groepen mensen gelijktijdig in de kelder moeten verblijven.

Tijdens een aanvullende visuele inspectie zijn verschillende onderdelen van het ventilatiesysteem in de kelder zelf bekeken (zie figuur 6). Op de linker foto zijn ronde metalen luchtkanalen zichtbaar die onder het plafond zijn gemonteerd. Deze kanalen vormen onderdeel van het centrale distributiesysteem voor toevoer of afvoer van lucht. In het midden is een wandrooster te zien dat fungeert als luchttoevoer- of retourpunt. De rechter foto toont eveneens een horizontaal hoofdventilatiekanaal dat door de ruimte loopt.



Figuur 6: Zichtbare onderdelen van het ventilatiesysteem in de oostvleugel van de kelder: links en rechts hoofdventilatiekanalen onder het plafond, midden een wandrooster voor luchttoevoer of -retour (eigen opnamen, 2026).

De rode leidingen die in de foto's zichtbaar zijn betreffen brandblusleidingen en maken geen onderdeel uit van het ventilatiesysteem. De aanwezigheid van ventilatiekanalen en roosters bevestigt dat de kelder mechanisch wordt geventileerd tijdens regulier gebruik. Op basis van de inspectie konden echter geen gegevens worden vastgesteld over de exacte luchtdebieten per ruimte of de maximale capaciteit van het systeem bij verhoogde bezetting.

7.3 Normatieve eisen voor ventilatie bij kortdurend schuilgebruik

De toetsing van de ventilatiecapaciteit is gebaseerd op richtlijnen voor het verblijf van grote groepen in afgesloten ruimten. In een dergelijk noodscenario zijn comforteisen secundair. De prioriteit ligt bij het handhaven van een overleefbare luchtkwaliteit door het voorkomen van zuurstoftekort en kritieke CO_2-concentraties.

Internationaal geldt FEMA 453 als het leidende referentiekader voor dit type onderzoek. Deze richtlijn stelt dat schuilruimtes moeten beschikken over een autonome verse luchttoevoer die berekend is op tijdelijke overbezetting (FEMA, 2009). Hoewel deze normen primair gericht zijn op 'safe rooms', bieden ze de meest realistische maatstaf voor de beoordeling van bestaand vastgoed met een schuilfunctie. FEMA gaat hierbij uit van een minimale luchttoevoer per persoon om CO_2-opbouw te beperken bij tijdelijke

overbezetting. De ventilatiecapaciteit wordt daarbij gekoppeld aan het aantal aanwezige personen en niet alleen aan het vloeroppervlak.

Daarnaast zijn de NEN 1087 en ASHRAE 62.1 geraadpleegd als vergelijkingsmateriaal (Nederlands Normalisatie-instituut, 2011; ASHRAE, 2019). Omdat deze normen uitgaan van regulier gebouwgebruik, dienen zij in dit onderzoek enkel om het contrast in benodigde debieten inzichtelijk te maken. In de uiteindelijke weging zijn de FEMA-richtlijnen leidend, aangezien deze de harde eis stellen dat een systeem ook onder extreme omstandigheden aantoonbaar moet functioneren.

7.4 Analyse van het bestaande systeem ten opzichte van schuilgebruik

Op basis van de in paragraaf 7.3 beschreven normatieve uitgangspunten wordt het bestaande systeem hieronder getoetst aan het scenario van kortdurend schuilgebruik. De gegevens uit het DNA-dossier en de installatietekeningen bevestigen dat de kelderventilatie integraal onderdeel is van de reguliere gebouwinstallatie. Het systeem is ontworpen voor de dagelijkse onderwijs- en ondersteuningsfuncties en functioneert niet als een zelfstandig noodventilatiesysteem. Zoals zichtbaar is in figuur 5, is de ventilatie ongelijkmatig over de kelder verdeeld. Met name de oostvleugel wordt actief bediend, terwijl de westelijke en centrale delen beperkter zijn aangesloten op het hoofdkanalensysteem.

Er zijn geen aanwijzingen gevonden dat de installatie beschikt over een noodstand, verhoogde capaciteit of redundante voorzieningen specifiek voor noodsituaties. In het DNA-dossier worden daarnaast geen noodstroomvoorzieningen voor de luchtbehandelingsinstallaties vermeld. Dit betekent dat bij stroomuitval de ventilatie direct uitvalt, waardoor de inzetbaarheid van de kelder als schuilruimte sterk wordt beperkt.

Hoewel aan beide zijden van de kelder laadschachten en goederenpoorten aanwezig zijn, kunnen deze niet worden beschouwd als volwaardige ventilatievoorzieningen. Natuurlijke ventilatie via dergelijke openingen is afhankelijk van weersomstandigheden, niet regelbaar en moeilijk te combineren met de vereiste afsluitbaarheid en bescherming tijdens een calamiteit.

Op basis van de beschikbare documentatie konden geen concrete gegevens worden vastgesteld over de maximale luchtdebieten per zone in relatie tot een sterk verhoogde bezettingsgraad. Op de installatietekeningen zijn wel lokale luchtdebieten per ruimte of rooster aangegeven, maar een totaaldebiet per zone of voor de volledige kelder kon hieruit niet eenduidig worden herleid. Hierdoor is niet aantoonbaar dat het bestaande systeem voldoet aan de ventilatie-eisen voor kortdurend schuilgebruik zoals beschreven in FEMA 453 (FEMA, 2009). Juist deze aantoonbaarheid is volgens FEMA essentieel om risico's op CO_2-opbouw en zuurstoftekort te beperken bij tijdelijke overbezetting.

7.5 Gevolgen voor de score en mogelijke verbetermaatregelen

Binnen het geschiktheidsmodel is ventilatie beoordeeld op basis van aantoonbare capaciteit bij kortdurend schuilgebruik. In de oorspronkelijke beoordeling is uitgegaan van een kwantitatieve benadering op basis van een verondersteld luchtdebiet per persoon. Naar aanleiding van de technische analyse in dit hoofdstuk is deze benadering herzien.

Uit de installatietekeningen en inspecties blijkt dat er in de kelder wel degelijk een mechanisch ventilatiesysteem aanwezig is. Daarmee is een score die uitgaat van vrijwel afwezige ventilatie niet langer representatief. Tegelijkertijd ontbreken meetgegevens of documentatie waaruit blijkt dat het systeem voldoende capaciteit levert bij hoge bezettingsgraden of functioneert onder noodomstandigheden. Om die reden is de variabele geherclassificeerd als observeerbaar en is de score aangepast naar een matige waardering van een 4,00, in plaats van een minimale score.

De aangepaste score weerspiegelt dus dat ventilatie aanwezig is, maar niet aantoonbaar geschikt is voor overbezettingsscenario's. De beperkte spreiding van ventilatievoorzieningen over de kelder en de afhankelijkheid van de reguliere stroomvoorziening blijven hierbij bepalend. Er is geen noodstand of redundantie aangetoond, waardoor bij stroomuitval de luchtverversing direct wegvalt.

Verbetering van de inzetbaarheid hoeft niet direct te bestaan uit grootschalige bouwkundige ingrepen. Een eerste stap zou moeten zijn om de daadwerkelijke ventilatiecapaciteit per zone inzichtelijk te maken. Op basis daarvan kan worden onderzocht of bestaande installaties tijdelijk hoger kunnen worden ingesteld of dat aanvullende noodventilatie noodzakelijk is in minder goed bediende delen van de kelder, met name in de westvleugel waar nauwelijks actieve luchttoevoer zichtbaar is.

Indien uit nadere technische analyse blijkt dat de capaciteit daar structureel tekortschiet, is een uitbreiding van het kanaalwerk of het plaatsen van een afzonderlijke mechanische unit noodzakelijk. Vanuit veiligheidsperspectief is het bovendien essentieel om te onderzoeken of een beperkte noodstroomvoorziening gekoppeld kan worden aan de ventilatie, zodat bij uitval van het net de minimale luchtverversing gegarandeerd blijft. Een alternatieve beheersmaatregel is om het schuilgebruik strikt te concentreren in de zones waar de ventilatie aantoonbaar beter geregeld is, om zo de risico's van overbezetting te minimaliseren.

7.6 Kostenindicatie op hoofdlijnen

Voor het verkrijgen van een realistische kostenindicatie is contact gezocht met meerdere installatiebedrijven actief in de utiliteitsbouw. Tijdens deze contacten werd aangegeven dat een inhoudelijke kosteninschatting voor ventilatie-aanpassingen in bestaande

kelders doorgaans door gespecialiseerde engineers wordt opgesteld en niet direct kan worden gegeven.

Omdat de doorlooptijd van dergelijke trajecten buiten de beschikbare tijd voor deze aanvulling valt, is gewerkt met globale kostenindicaties op basis van openbare informatie en praktijkervaring. Voor eenvoudige of tijdelijke ventilatieoplossingen kan worden uitgegaan van kosten in de orde van enkele tienduizenden euro's. Meer ingrijpende maatregelen, zoals uitbreiding van bestaande installaties of het creëren van redundantie, kunnen oplopen tot enkele honderdduizenden euro's. De uiteindelijke kosten zijn dus sterk afhankelijk van de benodigde capaciteit (m^3/h), het bestaande leidingwerk en de mogelijkheid om aan te sluiten op bestaande installaties.

Deze bedragen geven uitsluitend een orde van grootte weer en vormen geen begroting op bestekniveau. Zij dienen ter ondersteuning van de afweging of technische verbeteringen proportioneel zijn ten opzichte van het beoogde gebruik van de kelder als schuilruimte.

7.7 Reflectie: Aanwezigheid versus geschiktheid

De analyse van het ventilatiesysteem laat zien dat de aanwezigheid van een technische installatie niet automatisch betekent dat een ruimte geschikt is voor schuilgebruik. In de kelder van Bouwkunde is ventilatie aanwezig, maar deze is ontworpen voor regulier gebruik en niet aantoonbaar geschikt voor noodscenario's met verhoogde bezettingsgraad.

Dit onderscheid vormt een belangrijk uitgangspunt binnen het geschiktheidsmodel. Het model beoordeelt niet of voorzieningen bestaan, maar of zij functioneel voldoen aan de eisen die horen bij schuilgebruik. Juist bij technische systemen zoals ventilatie wordt hiermee zichtbaar dat reguliere gebouwvoorzieningen tekort kunnen schieten wanneer zij buiten hun oorspronkelijke ontwerpkader worden ingezet.

8. Discussie

8.1 Betekenis van de geschiktheidsindex

De berekende geschiktheidsindex van 6,45 geeft aan dat de kelder van de faculteit Bouwkunde in de huidige situatie niet eenduidig als geschikt of ongeschikt kan worden aangemerkt voor schuilgebruik. De index is nadrukkelijk bedoeld als een vergelijkings- en diagnose-instrument, waarmee inzicht wordt verkregen in welke aspecten de geschiktheid bepalen en welke factoren de inzetbaarheid beperken.

Daarom moet de score van 6,45 gezien worden in relatie met het doel van het model. De index maakt het mogelijk om verschillende kelders met elkaar te vergelijken en om te bepalen welke categorieën of variabelen prioriteit hebben bij mogelijke aanpassingen. Voor de kelder van Bouwkunde betekent dit dat er duidelijk potentie is om als schuilkelder te functioneren, maar dat dit in de huidige situatie nog niet vanzelfsprekend is. Deze geschiktheidsindex werkt daarmee als een onderbouwd afwegingsinstrument, en niet als een bindende eindbeoordeling.

8.2 Analyse van de belangrijkste bottlenecks

Hoewel de kelder ruimtelijk en constructief gezien goed scoort, wordt de totale geschiktheid geremd door factoren die te maken hebben met het daadwerkelijke verblijf tijdens een calamiteit. De lage score voor verblijfsomstandigheden wijst erop dat essentiële faciliteiten onvoldoende aanwezig of betrouwbaar zijn om een grote groep mensen te ondersteunen.
Deze uitkomst sluit aan bij de oorspronkelijke functie van het gebouw. De faculteit is ontworpen voor onderwijs en kantoorwerk, waarbij de kelder slechts een ondersteunende rol heeft. Zaken als de ventilatie, het sanitair en de noodstroomvoorziening zijn niet berekend op scenario's waarbij grote aantallen mensen in de kelder moeten schuilen.

De resultaten van het model laten zien dat de beperkingen van de kelder duidelijk liggen in één categorie, namelijk de verblijfsomstandigheden. Dit betekent dat verbetering van de geschiktheidsinderx niet vraagt om grootschalige ruimtelijke ingrepen, maar om gerichte aanpassingen aan technische en organisatorische voorzieningen. Deze constatering is de basis van de aanbevelingen die in Hoofdstuk 9 wordt uitgewerkt.

8.3 Gevoeligheid en beperkingen van het model

De uitkomsten van het geschiktheidsmodel zijn afhankelijk van een aantal aannames en keuzes die in dit onderzoek zijn gemaakt. Deze onzekerheden zijn subjectief kijkend naar het doel van het model, dat is opgezet als een indicatief en vergelijkend instrument en niet als een gedetailleerd eindbeoordelaar.

Een factor die de resultaten sterk beïnvloedt, is de gehanteerde norm voor het vloeroppervlak per persoon. Er is in dit onderzoek gekozen voor de FEMA-richtlijnen voor kortdurend schuilen, wat aansluit bij het geschetste scenario. Als er strengere normen voor langdurig verblijf zouden worden toegepast, daalt de berekende capaciteit en daarmee ook de totale geschiktheidsscore. Hoewel de keuze voor deze norm de absolute score beïnvloedt, blijven de onderlinge verhoudingen tussen de sterke en zwakke punten van de kelder wel overeind.

Daarnaast bevatten enkele variabelen, vooral binnen de categorie organisatie en toegankelijkheid, een kwalitatief karakter. Deze scores zijn gebaseerd op beschikbare documentatie, observaties en gesprekken, en zijn daarmee gebaseerd op gerichte schattingen. Echter is hier nog wel validatie nodig van een deskundige zoals iemand van gebouwbeheer.

Uit het gehouden validatiegesprek is daarnaast naar voren gekomen dat constructieve veiligheid in de praktijk vaak wordt gezien als een eerste randvoorwaarde. Wanneer een kelder constructief onvoldoende veilig is, verliest een verdere beoordeling op andere aspecten zijn betekenis. In het huidige model wordt constructieve veiligheid meegenomen als één van de categorieën, maar niet als uitsluitingscriterium. Dit is een bewuste keuze geweest om verschillen tussen kelders inzichtelijk te houden, maar vraagt wel om zorgvuldige interpretatie van de resultaten.

Ook is tijdens de validatie aangegeven dat voor bepaalde voorzieningen, zoals ventilatie en noodstroom, het hanteren van een minimale ondergrens wenselijk is. Onder een bepaald niveau zouden deze voorzieningen niet verder moeten worden meegewogen, maar direct als kritisch moeten worden aangemerkt. In de huidige opzet van het model worden deze aspecten wel gewogen, maar niet expliciet afgekapt.

Tot slot is het model in dit stadium enkel toegepast op de kelder van Bouwkunde. De resultaten zijn hierdoor niet direct over te nemen voor de rest van de campus. Bovendien is de input deels gebaseerd op visuele inspecties en bestaande archiefstukken. Ondanks deze beperkingen biedt de index een goed inzicht in de prioriteiten voor schuilgebruik, mits het model wordt gebruikt waarvoor het bedoeld is: als hulpmiddel voor een eerste beoordeling en vergelijking, en niet als een definitief eindoordeel over geschiktheid.

9. Conclusie

Dit onderzoek toont aan dat er een model opgesteld kan worden dat als systematisch beoordelingsmodel gebruikt kan worden om de geschiktheid van kelders als schuilkelders inzichtelijk kan maken. Dit model kan worden opgesteld door relevante constructieve, ruimtelijke, technische en organisatorische variabelen te kiezen, deze vervolgens te koppelen aan bestaande richtlijnen en normen en hiermee tenslotte het

toekennen van verschillende weegfactoren. Door dit allemaal samen te combineren en de gewogen gemiddeldes bij elkaar op te tellen kan er tot een totale geschiktheidsindex gekomen worden.

De kelder van de faculteit Bouwkunde scoort bij de eerste toepassing van het model een geschiktheidsindex van **6,45**. Het model laat zien dat deze score wordt beperkt vooral door de verblijfsomstandigheden. Constructieve veiligheid en de organisatorische variabelen scoren gemiddeld. De capaciteit en de ruimte van de kelder van Bouwkunde heeft veruit het meeste potentie.

Daarmee laat het onderzoek zien dat het model geschikt is om niet alleen een eindscore te genereren, maar vooral om inzicht te geven in de factoren die de inzetbaarheid van kelders als schuilruimte en juist gunstig zijn.

Omdat het model in dit onderzoek nog maar op één casus is getest en is gebaseerd op een aantal aannames, dienen de resultaten te worden gezien als een eerste indicatie en uitgangspunt voor verdere toepassing en verfijning.

Dit onderzoek vormt een aanvulling op eerder technisch onderzoek naar de inzet van kelders als schuilruimte, zoals het project van Ooijen (Ooijen, 2024), waarin een specifieke kelder constructief is doorgerekend en uitgewerkt tot een ontwerp. Waar dat type onderzoek zich richt op de technische haalbaarheid en detaillering van één locatie, richt dit onderzoek zich juist op de fase daarvoor: het systematisch beoordelen en vergelijken van kelders op geschiktheid. Het ontwikkelde model biedt daarmee een eerste selectie- en analyse-instrument dat kan worden gebruikt om te bepalen welke kelders kansrijk zijn en waar verdere technische verdieping, zoals constructieve berekeningen en ontwerpen, zinvol is.

10. Aanbevelingen

10.1 Aanbevelingen voor de kelder van de faculteit Bouwkunde

Op basis van de resultaten van het geschiktheidsmodel kan worden geconcludeerd dat de kelder van de faculteit Bouwkunde in de huidige situatie vooral wordt beperkt door voorzieningen die samenhangen met verblijf tijdens een noodsituatie. De onderstaande aanbevelingen zijn gericht op het verbeteren van deze knelpunten en zijn direct gekoppeld aan de laagst scorende variabelen binnen het model.

Ventilatie en luchtverversing
De grootste beperking wordt gevormd door de ventilatiecapaciteit. Aanbevolen wordt om te onderzoeken in hoeverre bestaande installaties geschikt kunnen worden gemaakt voor noodscenario's met verhoogde bezetting, bijvoorbeeld door het mogelijk maken van een noodstand of het toevoegen van tijdelijke noodventilatie. Zonder een minimale, aantoonbare luchtverversing is grootschalig schuilgebruik niet verantwoord.

Noodstroom en noodverlichting
Het gebrek aan noodstroom heeft direct gevolgen voor de verlichting, ventilatie en de algemene veiligheid in de kelder. De inzetbaarheid zou aanzienlijk verbeteren als er een noodstroomvoorziening komt, ook al is deze beperkt tot alleen de basissystemen. Hierbij is de prioriteit vooral het draaiende houden van de noodverlichting, de basisventilatie en de communicatiemiddelen.

Sanitaire voorzieningen voor noodgebruik
In de huidige kelder zijn geen sanitaire faciliteiten, dus ook niet voor tijdens de opvang van een grote groepen mensen tijdens een calamiteit. Het is daarom noodzakelijk om te kijken naar tijdelijke oplossingen, zoals mobiele units of het aanpassen van specifieke ruimtes voor noodgebruik. Dit is vooral essentieel wanneer het verblijf in de kelder langer dan enkele uren duurt.

Drinkwatervoorziening
De drinkwatervoorzieningen in de kelder van Bouwkunde zijn erg schaars. Het is ingericht op een klein aantal mensen die er even gebruik van maken. Het systeem is niet ingericht op noodsituaties of voor intensief gebruik. Een noodvoorziening, bijvoorbeeld via tijdelijke opslag of een extra aansluiting, zou de omstandigheden in de kelder sterk verbeteren. Bovendien maakt dit de locatie minder afhankelijk van andere watervoorzieningen die tijdens een noodsituatie ook uit kunnen vallen.

Waterdichtheid en constructieve randvoorwaarden
Uit de inspecties blijkt dat met name de waterdichtheid van delen van de kelder aandacht vraagt, doordat bij hevige neerslag lokaal vocht- en lekkageproblemen optreden. In theorie zouden grootschalige maatregelen, zoals het volledig waterdicht

maken of constructief versterken van de kelder, de geschiktheid verder kunnen vergroten. Dergelijke ingrepen vragen echter om ingrijpende renovaties en hoge investeringskosten en vallen daarmee buiten de scope van dit onderzoek. Gezien het doel van het model, het benutten van bestaande gebouwen met beperkte aanpassingen, wordt aanbevolen om constructieve ingrepen alleen als optie te beschouwen wanneer deze toch al onderdeel zijn van gepland onderhoud of renovatie.

Beheer, afsluitbaarheid en noodprocedures
Tot slot moeten er duidelijke afspraken en protocollen komen voor het gebruik van de kelder tijdens een noodsituatie. Het gaat hierbij om de verantwoordelijkheid voor de besluitvorming, de regels rondom toegang en afsluiting, en het bepalen van de beschikbare ruimtes. Omdat dit puur organisatorische maatregelen zijn, zijn ze relatief eenvoudig in te voeren, terwijl ze de praktische inzetbaarheid van de kelder direct vergroten.

10.2 Must-haves en Nice-to-haves bij schuilgebruik

Tijdens een noodsituatie kan er onderscheid gemaakt worden tussen de essentiële benodigdheden die aanwezig moeten zijn om te kunnen schuilen (must-haves) en voorzieningen die de kwaliteit en de verblijfsomstandigheden verbeteren maar niet noodzakelijk zijn (nice-to-haves). Deze zijn overzichtelijk onder elkaar gezet en te zien in Bijlage A. Deze indeling sluit aan bij de gehanteerde variabelen binnen het geschiktheidsmodel en de resultaten van de casus Bouwkunde.

10.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek en doorontwikkeling van het model

Hoewel het is gelukt om met behulp van het ontwikkelde model de geschiktheid van kelders als schuilkelders op een overzichtelijke manier inzichtelijk te maken, zijn er andere mogelijkheden om het model verder te verbeteren. Een belangrijke vervolgstap is het toepassen van het model op meerdere gebouwen, bijvoorbeeld binnen de TU Delft-campus. Hiermee kan worden onderzocht of het model voldoende onderscheidend is en of vergelijkbare knelpunten naar voren komen.

Het geschiktheidsmodel is daarbij nadrukkelijk bedoeld voor de fase vóór gedetailleerd technisch onderzoek. In vergelijking met eerder uitgevoerd onderzoek, zoals het bachelor project van Ooijen, waarin een specifieke kelder constructief is doorgerekend en technisch is uitgewerkt, richt dit model zich op een hoger abstractieniveau. Het model kan worden ingezet om te bepalen welke kelders kansrijk zijn en waar verdere technische verdieping, zoals constructieve berekeningen en ontwerpstudies, zinvol is. Op deze manier vullen beide benaderingen elkaar aan.

Uit het gehouden validatiegesprek is gebleken dat het wenselijk kan zijn om het model verder aan te scherpen door het werken met randvoorwaarden en ondergrenzen. Met

name voor constructieve veiligheid, ventilatie en noodvoorzieningen zou onderzocht kunnen worden of deze aspecten eerst aan minimale eisen moeten voldoen voordat verdere beoordeling zinvol is. Dit kan de interpretatie van de resultaten verduidelijken en het risico verkleinen dat de totaalscore te zwaar wordt geïnterpreteerd.

Daarnaast kan het opnemen van een gevoeligheidsanalyse bijdragen aan een beter begrip van de invloed van gekozen normen, variabelen en weegfactoren. Tot slot kunnen aanvullende validatiegesprekken met deskundigen uit verschillende vakgebieden, zoals gebouwbeheer, veiligheidsdeskundigen en beleidsmakers, helpen om het model verder af te stemmen op de praktijk. Op die manier kan het model zich ontwikkelen tot een robuust en breed inzetbaar hulpmiddel ter ondersteuning van besluitvorming.

10.4 Zelfreflectie

Terugkijkend op het project was het formuleren van een passend onderwerp en een scherpe onderzoeksvraag in het begin een uitdaging. Het oorspronkelijke onderwerp dat werd overwogen bleek al gekozen, waardoor opnieuw nagedacht moest worden over de richting en afbakening van het onderzoek. Dit proces kostte tijd, maar bleek uiteindelijk zeer leerzaam.

Het zelfstandig opzetten van een onderzoek, het structureren van het probleem en het stap voor stap toewerken naar een samenhangend eindresultaat heeft veel inzicht gegeven in hoe een civieltechnisch onderzoek in de praktijk wordt aangepakt. Naarmate het project vorderde en het model concreter werd, groeide ook het plezier in het werken aan het onderwerp. Het uiteindelijke resultaat laat zien hoe een abstract probleem kan worden vertaald naar een praktisch en toepasbaar beoordelingsinstrument.

10.5 Methodologische eindreflectie

Om goed kritisch te kunnen beoordelen of dit onderzoek juist is uitgevoerd en de beste methodes zijn gebruikt moet er een stap naar achteren gedaan worden om dit te bepalen.
Door de aanvullende technische uitwerking van het ventilatiesysteem en het gehouden validatie-interview is deze bredere context concreter geworden. Waar in de oorspronkelijke beoordeling vooral is gekeken naar de aanwezigheid van voorzieningen, is in deze aanvulling duidelijk geworden dat juist de functionele geschiktheid onder noodomstandigheden doorslaggevend is. Deze inzichten hebben geleid tot een kritischer beschouwing van de gekozen modelopzet en de interpretatie van de uitkomsten.

Er is in dit onderzoek gekozen voor een multicriteria-analyse (MCA) die gebruikt is in het geschiktheidsmodel. Deze methode is goed voor bijvoorbeeld eerste verkenningen en bij het vergelijken van meerdere objecten, maar het is geen objectieve veiligheidsbeoordeling. De MCA vertaalt complexe technische aspecten naar één

samengestelde score, waardoor nuance deels verloren kan gaan. Dit werd in dit onderzoek duidelijk bij de beoordeling van het ventilatiesysteem: de aanwezigheid van een mechanische installatie bleek niet automatisch te betekenen dat deze ook geschikt is voor schuilgebruik bij hoge bezettingsgraad.

Daarnaast worden door het toekennen van weegfactoren normatieve keuzes gemaakt: welke aspecten worden belangrijker geacht dan andere. Deze keuzes zijn onvermijdelijk deels subjectief, ook al zijn zij onderbouwd met literatuur en gevalideerd via een expertinterview.

Het gevolg hiervan is dat het model vooral geschikt is als screeningsinstrument, bedoeld om sterke en zwakke punten inzichtelijk te maken en kansrijke locaties te identificeren. Het model is nadrukkelijk niet bedoeld als besluitvormend eindmodel voor het aanwijzen van schuilkelders.

Bij een kritische beschouwing moet ook onderscheid worden gemaakt tussen criteria en harde eisen binnen het model. Criteria kunnen beter of slechter scoren, terwijl eisen minimaal moeten worden gehaald. Zoals eerder benoemd en bevestigd in het validatie-interview, geldt dat constructieve veiligheid in feite geen optimaliseerbaar criterium is, maar een randvoorwaarde. Zoals door de expert werd verwoord: *“Als een kelder constructief niet veilig is en niet tegen impact kan, dan heeft de rest eigenlijk weinig waarde.”* Achteraf bezien had constructieve veiligheid daarom beter als een harde eis of knock-outcriterium gemodelleerd kunnen worden, waarna het MCA-model pas wordt toegepast op de resterende locaties.
Dit zou betekenen dat locaties die niet voldoen aan minimale constructieve eisen bij voorbaat buiten beschouwing worden gelaten en niet meer worden meegenomen in de scorevergelijking. De interpretatie van de eindresultaten verandert daarmee van een relatieve beoordeling naar een gefaseerde selectie, waarbij veiligheid eerst wordt geborgd voordat verdere optimalisatie plaatsvindt.

Daarnaast kan worden gediscussieerd over de betekenis van het eindcijfer dat uit het model volgt. Een eindscore suggereert een mate van precisie die in werkelijkheid niet altijd gerechtvaardigd is. Het verschil tussen bijvoorbeeld een score van 6,3 en 6,6 is inhoudelijk nauwelijks betekenisvol. De waarde van het model zit dan ook niet primair in het eindcijfer, maar in het zichtbaar maken van sterke en zwakke punten, het vergelijken van scenario’s en het identificeren van mogelijke verbetermaatregelen. Het risico bestaat echter dat gebruikers zich te veel focussen op het eindcijfer en te weinig op de onderliggende variabelen en aannames.

Tot slot is de scope van dit onderzoek bewust beperkt tot kortdurend schuilgebruik. Aspecten zoals medische voorzieningen, langdurig comfort en logistiek zijn daardoor buiten beschouwing gelaten. Voor langdurig schuilgebruik zouden andere variabelen en wegingen noodzakelijk zijn, wat impliceert dat hiervoor mogelijk een ander of aanvullend beoordelingsmodel nodig is.

In dat licht kan worden geconcludeerd dat het ontwikkelde model vooral geschikt is om richting te geven aan verdere analyse, maar niet om op zichzelf definitieve uitspraken te doen over veiligheid.

Bibliografie

ASHRAE. (2019). *ANSI/ASHRAE Standard 62.1: Ventilation for acceptable indoor air quality*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Besluit bouwwerken leefomgeving. (2024). *Besluit bouwwerken leefomgeving*. Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden.

CUR. (2012). *CUR-Aanbeveling 77: Ontwerp en uitvoering van waterdichte kelders*. Stichting CURnet.

Federal Emergency Management Agency. (2009). *Safe rooms and shelters: Design guidance for shelters and safe rooms (FEMA 453)*. U.S. Department of Homeland Security. https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema453.pdf

Gemeente Arnhem. (2020). *Strategie klimaatadaptatie Arnhem 2020–2030: Groen, slim en samen*. https://www.arnhem.nl

Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2012). *Bouwbesluit 2012*. Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden.

Nederlands Normalisatie-instituut. (2011). *NEN-EN 1990:2011 – Eurocode: Basis of structural design*. NEN.

Nederlands Normalisatie-instituut. (2011). *NEN 1087: Ventilatie van gebouwen – Bepalingsmethoden voor nieuwbouw*. NEN.

Nederlands Normalisatie-instituut. (2015). *NEN 2778: Vochtwering in gebouwen*. NEN.

Ooijen, B. B. van. (2024). *Constructieve analyse van een kelder als schuilplaats* (Bachelor eindproject). Technische Universiteit Delft.

Sphere Association. (2018). *The Sphere handbook: Humanitarian charter and minimum standards in humanitarian response*. Sphere Association.

TU Delft. (2019.). *Faculteit Bouwkunde – Het gebouw*. https://www.tudelft.nl/bk/over-faculteit/het-gebouw

TU Delft. (2019). Installatietekening kelder Bouwkunde – Ventilatie en werktuigkundige installaties (08-NN-K1-5700-P01) [Interne revisietekening]. Technische Universiteit Delft.

UNHCR. (2023). *Emergency shelter solutions and standards*. United Nations High Commissioner for Refugees. https://emergency.unhcr.org

Van Dijcke, D., et al. (2023). Public response to government alerts saves lives during crises. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *120*(x), e2301234120. https://doi.org/10.1073/pnas.2301234120

VentilatiesysteemABCD.nl. (2025). *Overzicht ventilatieprijzen – prijs ventilatiesysteem A, B, C, D*. Geraadpleegd van https://www.ventilatiesysteemabcd.nl/prijs-ventilatiesysteem

Wikipedia. (2025, 19 december). *Ukraine Siren Alerts*. Geraadpleegd op 5 januari 2026, van https://en.wikipedia.org/wiki/Ukraine_Siren_Alerts

Bijlage A. Must-have en & Nice-to-have tabellen

Categorie	Voorziening	Toelichting
Must-have	Constructieve veiligheid	De kelder moet voldoende robuust zijn om de bovenliggende belasting te dragen en een extra belasting van bijvoorbeeld een bom kunnen verdragen. Zonder deze randvoorwaarde is schuilgebruik niet verantwoord.
Must-have	Minimale ventilatie	Er moet een aantoonbare minimale luchtverversing mogelijk zijn om ophoping van CO_2 en andere verontreinigingen te voorkomen, ook bij verhoogde bezetting.
Must-have	Noodstroomvoorziening	Dit is essentieel om noodverlichting en andere cruciale elektronische apparaten te voorzien als nodig. Zonder stroom zal er paniek ontstaan.
Must-have	Noodverlichting	Basisverlichting is noodzakelijk om paniek te voorkomen en veilige oriëntatie mogelijk te maken bij stroomuitval.
Must-have	Sanitair (noodoplossing)	Er moet minimaal een noodvoorziening aanwezig zijn om hygiënische omstandigheden te waarborgen bij grotere groepen mensen.
Must-have	Veilige toegang en afsluitbaarheid	De kelder moet gecontroleerd toegankelijk zijn en afsluitbaar tegen ongewenste toegang van buitenaf.
Must-have	Drinkwatervoorziening	Toegang tot drinkwater is erg belangrijk, bij kortdurend schuilgebruik echter niet essentieel

Type	Voorziening	Toelichting
Nice-to-have	Communicatiemiddelen	Ondersteunen interne communicatie en informatievoorziening, wat bijdraagt aan rust en organisatie tijdens een noodsituatie.
Nice-to-have	Routing en bewegwijzering	Vergemakkelijkt een snelle en veilige instroom van grote aantallen mensen en voorkomt verwarring.
Nice-to-have	Zitplaatsen en inrichting	Verbetert het comfort en de verblijfsduur, maar is geen primaire veiligheidsvoorwaarde.

Type	Voorziening	Toelichting
Nice-to-have	EHBO-voorzieningen	Ondersteunend bij medische incidenten, bijvoorbeeld een kamer omtoveren tot medisch punt.
Nice-to-have	Voedselvoorzieningen	Ook voor schuilgebruik van een aantal uur is belangrijk dat er wat nood voedselvoorzieningen aanwezig zijn.
Nice-to-have	GPS-stoorzenders	Relevant bij gebruik van GPS-gestuurde dreigingsmiddelen, maar niet noodzakelijk voor schuilgebruik.

Bijlage B: Het Geschiktheidsmodel

Hoofdcategorie	Variabele	Categorie	Gewicht van de Variabele (G)	Ideale Norm (N)	Bouwkunde Waarde (W)	Deelscore (W / N * 10)	Gewogen Score
1. Constructieve Veiligheid	**Totaal Gewicht: 39%**						
1.1 Wand- en Vloerdikte	Dikte Dragende Muur [cm]	1	0,16	40	30	7,5	1,2
1.2 Waterdichtheid	Conditie Waterkerende Laag	2	0,07	10	3	3	0,21
1.3 Stabiliteit	Constructieve Staat	2	0,16	10	7,5	7,5	1,2
2. Capaciteit en Ruimte	**Totaal Gewicht: 23%**						
2.1 Netto Bruikbare Oppervlakte	Netto bruikbare kelderoppervlakte (ft²)	1	0,16	6	6	10	1,6
2.2 Vrije Hoogte	Vrije Hoogte [m]	1	0,07	2,3	2,4	10	0,7
3. Verblijfsomstandigheden	**Totaal Gewicht: 20%**						
3.1 Ventilatiecapaciteit	Luchtverversing	2	0,08	10	4	4	0,32
3.2 Sanitair	Aantal toiletten per capaciteit	2	0,03	10	1	1	0,03
3.3 Noodvoorzieningen	Aanwezigheid noodverlichting en stroom	3	0,06	10	1	1	0,06
3.4 Beschikbaarheid drinkwater	Watervoorziening	3	0,03	10	3	3	0,09
4. Organisatie en Toegankelijkheid	**Totaal Gewicht: 18%**						
4.1 Toegankelijkheid	Aantal functionerende en vrije nooduitgangen	2	0,08	10	7	7	0,56
4.2 Beheer en afsluitbaarheid	Goed beheer en snel afsluitbaar in noodsituaties	2	0,05	10	5,5	5,5	0,275
4.3 Veiligheid Technische Installaties	Beveiliging van gevaarlijke installaties	2	0,05	10	7	7	0,35
Totaal			**1**			**Geschiktheidsindex =**	6,595

TU Delft

Bijlage C: Validatie-interview Erwin Faber

Datum: 29 Januari 2026

Vorm: Fysiek

Duur: ca. 45 minuten

Toestemming: Het interview is afgenomen met toestemming van de geïnterviewde; de uitwerking is een samenvatting/uitschrijving ten behoeve van modelvalidatie.

In het kader van dit bachelor eindproject is een validatie-interview afgenomen met Erwin Faber. Het doel van dit interview was het toetsen en valideren van het ontwikkelde geschiktheidsindexmodel voor het gebruik van kelders als schuilkelder. Het interview richtte zich op de modelopzet, de gekozen categorieën en variabelen, de wegingen, aannames en de praktische toepasbaarheid van het model.

Erwin Faber is project engineer bij Bash Consultancy, een bouwkundig en civieltechnisch adviesbureau. Hij werkt al achttien jaar bij dit bureau en heeft daarnaast ervaring opgedaan bij een ander adviesbureau. Binnen zijn huidige functie is hij onder meer betrokken bij het voorbereiden en engineering van planmatig onderhoud voor de TU Delft. Vanwege zijn ervaring met gebouwbeheer, besluitvorming op basis van onvolledige data en praktische toepassing van modellen is hij geïnterviewd als externe deskundige voor de validatie van het model.

1. Introductie en modelaanpak

Vraag 1: Kunt u uzelf kort voorstellen en toelichten wat uw achtergrond en huidige werkzaamheden zijn?

Ik werk bij Bash Consultancy, een bouwkundig en civieltechnisch adviesbureau. Ik zit daar inmiddels bijna achttien jaar en heb daarvoor ook bij een ander bureau gewerkt, onder andere als tekenaar. In mijn huidige rol werk ik als project engineer en bereid ik planmatig onderhoud voor, onder meer voor de TU Delft. Ik houd me bezig met het engineering-gedeelte van onderhoudsprojecten en werk daarbij veel met bestaande gebouwen en gebouwinformatie.

Vraag 2: Herkent u deze manier van werken, een geschiktheidsindex met meerdere categorieën en weegfactoren?

Ik heb zelf nooit met schuilkelders gewerkt, dus in die zin is het onderwerp nieuw voor mij. Maar het principe van een keuzemodel of een multicriteria-analyse herken ik wel. Soms moet je dingen meetbaar maken om een keuze te kunnen onderbouwen en daar past zo'n model goed bij.

Vraag 3: Wat was uw eerste indruk toen u het model in één oogopslag zag?

Mijn eerste indruk was dat het model in de basis logisch is, maar dat je het nog wat concreter en sterker neer zou kunnen zetten. Met name de motivatie is belangrijk: waarom bestaat dit model en voor wie is het bedoeld? Als je dat niet goed duidelijk maakt, vraag ik me af of mensen het ook echt gaan gebruiken.

Vraag 4: Zou u dit onderzoek of dit type model zelf anders hebben aangepakt?

Nee, ik denk dat ik het zelf ongeveer op dezelfde manier had aangepakt. De structuur die je nu hebt gekozen is logisch en herkenbaar.

2. Structuur en categorieën van het model

Vraag 5: Vindt u de gekozen vier hoofdcategorieën logisch?

Ja, die vind ik logisch. Ik denk dat je de belangrijkste hoofdzaken wel te pakken hebt. Wat altijd interessant is, is kijken of er iets ontbreekt, maar ik kon niet direct een extra hoofdcategorie bedenken. Je zou eventueel wel binnen categorieën verder kunnen differentiëren om het model concreter te maken.

Vraag 6: Zou u constructieve veiligheid als belangrijkste categorie beschouwen?

Ja, absoluut. Mensen gaan naar een schuilkelder om zich veilig te voelen. Als een kelder constructief niet veilig is en niet tegen impact kan, dan heeft de rest eigenlijk weinig waarde. Veiligheid is voor mij dus de basis.

Daarbij wil ik wel zeggen dat veiligheid breder is dan alleen constructief. Als er bijvoorbeeld sprake zou zijn van een chemische dreiging, dan speelt ook mee of er openingen of kieren zijn waardoor stoffen naar binnen kunnen. In dat geval voelt zo'n ruimte alsnog niet veilig.

3. Aannames en combinatie van variabelen

Vraag 7: Hoe gaat u in de praktijk om met onvolledige data en aannames?

Aannames doen we eigenlijk altijd, maar de kern is hoe betrouwbaar de data is. Je moet weten waar gegevens vandaan komen, wie ze heeft opgesteld en of ze kloppen. Als de data betrouwbaar is, kun je daar conclusies of aannames aan verbinden. De betrouwbaarheid van de gegevens is daarbij doorslaggevend.

Vraag 8: Ziet u risico's in het combineren van kwantitatieve en kwalitatieve scores?

Niet per definitie. Wel denk ik dat er een aantal zaken zijn die gewoon moeten kloppen. Dat zijn meer de kwalitatieve randvoorwaarden. Als die basis niet goed is, dan valt de

rest eigenlijk een beetje in het water. De kwantitatieve scores zijn vooral een verfijning als die basis op orde is.

4. Variabelen en prioritering

Vraag 9: Welke variabelen vindt u het minst relevant of het lastigst betrouwbaar te beoordelen?

k vind de variabelen in de eerste categorieën allemaal belangrijk. De zaken onder organisatie en toegankelijkheid vind ik relatief minder zwaar wegen, zeker bij kortdurend schuilgebruik. Met name de veiligheid van technische installaties vind ik minder spannend. Voor mensen die daar schuilen is vooral belangrijk dat het werkt en dat ze zich veilig voelen.

5. Ventilatie en verblijfsomstandigheden

Vraag 10: Vindt u het logisch dat ventilatie een belangrijke rol speelt in het model?

Ja, zeker. Ventilatie is essentieel. Als mensen geen frisse of schone lucht krijgen, komen ze in de problemen en zullen ze naar buiten willen, terwijl dat juist niet de bedoeling is. Daarbij gaat het niet alleen om hoeveel lucht je naar binnen haalt, maar ook om wat je naar binnen haalt. Filtratie en het onderscheid tussen natuurlijke en mechanische ventilatie zijn daarbij belangrijk.

6. Praktische toepasbaarheid en reflectie

Vraag 11: Ziet u dit model als bruikbaar eerste screeningsinstrument?

Ja, dat zie ik zeker. Het kan veel nuttige informatie opleveren. Het is een beetje te vergelijken met weten waar een AED hangt: je hoopt hem nooit nodig te hebben, maar het is waardevol om te weten dat hij er is en waar hij zich bevindt.

Vraag 12: Welke informatie is minimaal nodig om het model verantwoord toe te passen?

Je moet in ieder geval zeker weten hoe het zit met de constructieve veiligheid. Dat is de basis. Het lastige is vervolgens hoe je aan die gegevens komt, want je kunt niet bij elk gebouw zomaar vaststellen of er een kelder is en hoe dik de wanden zijn.

Vraag 13: Wat ziet u als grootste zwakte of risico van dit onderzoek?

Ik zie het niet zozeer als een zwakte, maar wel als een risico dat je afhankelijk bent van beschikbare gegevens. Archieven kunnen onvolledig zijn. Het is belangrijk dat je dat risico benoemt en laat zien dat je daar bewust mee omgaat.

Vraag 14: Wat zou volgens u een logische vervolgstap zijn na dit bachelor eindproject onderzoek?

Ik denk dat dit interessante informatie kan zijn voor gemeenten, maar die informatie is ook gevoelig. Aan de andere kant kan het in rustige tijden juist helpen om gericht verbeteringen door te voeren. Daarnaast zou ik adviseren om het verhaal concreter te maken: waartegen bescherm je je precies en waarom zou je hier schuilen?

De uitkomsten van dit validatie-interview zijn meegenomen bij het aanscherpen van de weegfactoren en de interpretatie van de geschiktheidsindex.