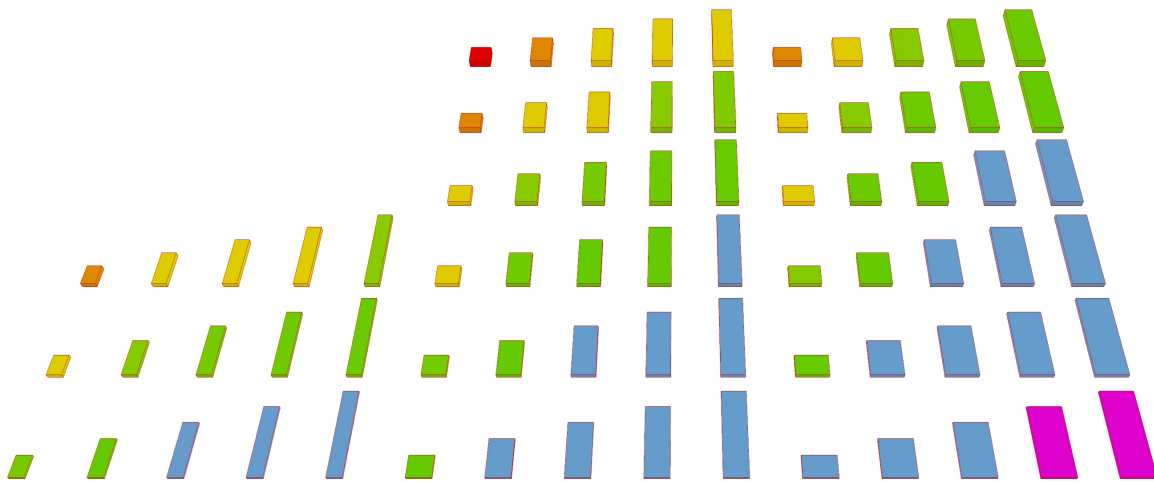


MPG-grenswaarde voor industriehallen

ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEID VAN EEN MPG-GRENSWAARDE VOOR
DE MILIEU IMPACT VAN INDUSTRIEHALLEN

projectcode: 401005



<i>Opdrachtgever:</i>	Keten Beleids Groep
<i>Auteur:</i>	ir J.P. den Hollander
<i>Datum:</i>	27 mei 2020
<i>Status:</i>	Definitief

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	2
Lijst met tabellen	4
Lijst met afbeeldingen	5
1 Inleiding	6
2 Onderzoeksopzet	7
2.1 Onderzoeksopdracht	7
2.2 Voortschrijdende inzichten uit het onderzoek	7
2.3 Methode van onderzoek	8
3 MPG berekeningen van hallen met BREEAM label	9
3.1 Geleverde gegevens	9
3.2 Analyse	10
4 Het parametrisch model	17
4.1 Techniek	17
4.2 Functie/doel parametrisch model	18
4.3 Principe van de MPG berekening volgens de Bepalingsmethode	18
4.4 Principe parametrisch model	20
5 Invoer parametrisch model	21
5.1 Geometrie	21
5.2 Materialisering en dimensies	23
5.2.1 Fundering	23
5.2.2 Vloeren	25
5.2.3 Draagconstructies	26
5.2.4 Gevels	27
5.2.5 Daken	30
5.2.6 Installaties	32
5.2.7 Inbouw	34
6 Resultaten MPG score	35
6.1 Principe	35
6.2 Resultaten	36
7 Gevoeligheidsanalyse	41
7.1 Eisen isolatie anno 2015	41
7.2 Eisen brandveiligheid	42
7.3 Kraanbaan	44
7.4 PV panelen	45
8 Voortschrijdende inzichten	47

8.1	Fundering	47
8.2	Locatie	49
8.2.1	Windgebied.....	49
8.2.2	Grondgesteldheid	51
8.3	Invloed hoogte	52
8.4	Functie van de hal	54
8.5	Effect van niet getoetste LCA data op de MPG score	56
8.6	Aanscherpen van de grenswaarde	59
8.7	Beperkingen van de rekeninstrumenten	60
9	Samenvatting MPG scores, gevoeligheidsanalyse, voorschrijdend inzichten en BREEAM dataset 62	
9.1	MPG scores	62
9.2	Gevoeligheidsanalyse	62
9.3	Voortschrijdende inzichten	63
9.4	Rekeninstrumenten en de Nationale Milieu Database	63
9.5	BREEAM dataset.....	63
10	Conclusies en aanbevelingen.....	64
10.1	Conclusies	64
10.2	Aanbevelingen	64
	Colofon	65
	Literatuur	66

Lijst met tabellen

Tabel 1: 90 ^e percentiel van de schaduwkosten op gebouwonderdelen van de 80 BREEAM hallen in €/ (m ² BVO·jaar)	11
Tabel 2: Verdeling oppervlak en hoogte BREEAM hallen	13
Tabel 3: P90 installaties en P90 totale schaduwkosten voor hal met koel-vries functie versus alle hallen	15
Tabel 4: Statistische kenmerken PV panelen op dak hallen met PV panelen	16
Tabel 5: Lengte (L) en breedte (B) in meter combinaties voor het parametrisch model	21
Tabel 6: Hoogte (H) in meter voor het parametrisch model	21
Tabel 7: Fundering -> Funderingsbalk: aantal+dimensies+parameters	23
Tabel 8: Fundering -> Funderingspalen onder funderingsbalk: aantal+dimensies+parameters	24
Tabel 9: Fundering -> Funderingspalen onder vloer: aantal+dimensies+parameters	25
Tabel 10: Vloeren, begane grond -> Vloeren op grondslag: aantal+dimensies+parameters	25
Tabel 11: Vloeren, begane grond -> Isolatielagen: aantal+dimensies+parameters	25
Tabel 12: Draagconstructie -> Hoofddraagconstructie -> constructies [kg]: aantal+dimensies+parameters	26
Tabel 13: Gevels -> Gevels, dicht -> Spouwwanden, buitenblad: aantal+dimensies+parameters	28
Tabel 14: Gevels -> Gevels, dicht -> Spouwwanden, binnenblad, massief: aantal+dimensies+parameters	28
Tabel 15: Gevels -> Gevels, dicht -> Isolatielagen: aantal+dimensies+parameters	28
Tabel 16: Gevels -> Gevels, dicht -> Bekleding: aantal+dimensies+parameters	29
Tabel 17: Gevels -> Gevels, open -> Ramen: aantal+dimensies+parameters	29
Tabel 18: Gevels -> Gevels, open -> Beglazing: aantal+dimensies+parameters	30
Tabel 19: Daken -> Daken, plat -> Daken: aantal+dimensies+parameters	30
Tabel 20: Daken -> Daken, plat -> Isolatielagen: aantal+dimensies+parameters	30
Tabel 21: Daken -> Daken, plat -> Bedekkingen: aantal+dimensies+parameters	31
Tabel 22: Daken -> Daken, plat -> Lichtstraten: aantal+dimensies+parameters	32
Tabel 23: Subonderdelen met aantal opties voor bepaling percentielen MPG scores	38
Tabel 24: MPG score [€/ (m ² BVO·jaar)] per gebouwonderdeel: percentielen P10-P90	38
Tabel 25: MPG score [€/ (m ² BVO·jaar)] op de gebouwonderdelen met isolatie (eis 2015) en aandeel isolatie daarin	41
Tabel 26: Vergelijking MPG score isolatie [€/ (m ² BVO·jaar)] isolatie eis 2012 en isolatie eis 2015	41
Tabel 27: MPG waarde draagconstructies met en zonder kraanbaan	44
Tabel 28: Elektriciteitsintensiteiten verschillende gebouwtypen uit de rubriek hallen	46
Tabel 29: Elektriciteitsintensiteiten verschillende branches	46
Tabel 30: 90 ^e percentiel (P90) fundering in detail [€/ (m ² BVO·jaar)]	48
Tabel 31: MPG score voor distributiecentrum met lange funderingspalen onder vloer	51
Tabel 32: Overzicht waarden voor breedte, lengte en hoogte	52
Tabel 33: Isolatiewaarden Bouwbesluit versus isolatiewaarden vrieshuis	55
Tabel 34: MPG scores (90 ^e percentiel, P90) Bouwbesluit isolatie en vrieshuis isolatie	55
Tabel 35: Vergelijking huidige situatie met situatie alle LCA data getoetst	56
Tabel 36: Totale MPG score in €/ (m ² BVO jaar): percentielen p10-p90	62

Lijst met afbeeldingen

Afbeelding 1: Aantal hallen op basis van verschillende versies van de Nationale Milieudatabase (NMD)	10
Afbeelding 2: BVO (blauw) versus grondoppervlak (grijs) gesorteerd op oppervlak van klein naar groot	12
Afbeelding 3: Totale schaduwkosten (€/m ² BVO·jaar, links) per hal bij grondoppervlak (m ² , rechts) van de hal	13
Afbeelding 4: Visualisatie MPG scores BREEAM hallen bij oplopend grondoppervlak	14
Afbeelding 5: Aandeel installaties (blauw) relatief hoog in de totale schaduwkosten (oranje) van de hal	15
Afbeelding 6: Schaduwkosten installaties en totale schaduwkosten voor hallen MET PV	16
Afbeelding 7: Schaduwkosten installaties en totale schaduwkosten voor hallen ZONDER PV	16
Afbeelding 8: Parametrisch ontwerpen ingezet door Ateliers Jean Nouvel voor het Louvre Abu Dhabi	17
Afbeelding 9: Parametrisch ontwerp van sondering door Mobilis op het Viktor.ai platform	17
Afbeelding 10: Openingsscherf met links (rood) de verplichte gebouwonderdelen voor de MPG berekening	18
Afbeelding 11: Subonderdelen van de gebouwonderdelen met beschikbare productkeuzes, aantal en dimensies	19
Afbeelding 12: Schematische doorsnede van de hal met voorgeschreven gebouwonderdelen uit de Bepalingsmethode	20
Afbeelding 13: Een hal is een relatief plat gebouw	21
Afbeelding 14: Hoogte (H) wordt beperkt tot 1/2 maal de breedte (B)	22
Afbeelding 15: Producten subonderdeel Fundering -> Funderingsbalken in de MRPI-MPG webtool	23
Afbeelding 16: Toelichting vibropaal subonderdeel Fundering -> Funderingsbalken in de MRPI-MPG webtool	24
Afbeelding 17: Schematische weergave vloer met daarin het isolatieoppervlak (strook van 3 m)	26
Afbeelding 18: Categorieën voor dichte gevels in MRPI-MPG webtool met aantal keuzes (totaal 180)	27
Afbeelding 19: Schematische weergave gevel met berekening oppervlakken in parametrisch model	27
Afbeelding 20: Schematische weergave gevel met relaties oppervlakken weergegeven (gevel, open)	29
Afbeelding 21: Opties voor lichtstraten in de MRPI-MPG webtool (gebruikt voor kantoren en woningen)	32
Afbeelding 22: Detail: opties voor warmteopwekkingsinstallaties U-bouw met dimensies	32
Afbeelding 23: De verdeling van de MPG resultaten is scheef (Scheefheid = 1,8 > 1) met staart naar rechts	35
Afbeelding 24: Totale MPG score per hal voor 165 verschillende afmetingen (deel 1)	36
Afbeelding 25: Totale MPG score per hal voor 165 verschillende afmetingen (deel 2)	37
Afbeelding 26: Opbouw percentielen P10-P50-P90 uit gebouwonderdelen	39
Afbeelding 27: Verdeling van de percentielen per gebouwonderdeel	40
Afbeelding 28: Materiaalkeuzes voor de brandwand (rood)	42
Afbeelding 29: Principe van het genereren van een brandwand in de hal	43
Afbeelding 30: Afmeting hal met minimale MPG score voor de brandwand (pijl)	43
Afbeelding 31: Afmeting hal met maximale MPG score voor de brandwand (pijl)	44
Afbeelding 32: Dakoppervlak en BVO hal vergeleken met dakoppervlak en BVO woning	45
Afbeelding 33: MPG score PV panelen op volledig volgelegd dak	45
Afbeelding 34: Grondoppervlak hal en BVO versus grondoppervlak woning/kantoor en BVO	47
Afbeelding 35: Hoge belasting hal leidt tot relatief zware fundering vergeleken bij kantoor/woning	47
Afbeelding 36: Productkeuzes voor funderingspalen met rood de keuzes voor de funderingspalen onder de vloer	48
Afbeelding 37: : Windgebieden in Nederland (windgebied I is hoogste windbelasting)	49
Afbeelding 38: Gewicht staalconstructie hal windgebied I en windgebied III	50
Afbeelding 39: Materiaalkeuzes voor de funderingspalen onder funderingsbalk en vloer	51
Afbeelding 40: MPG scores per hal afhankelijk van de hoogte	52
Afbeelding 41: Verloop MPG score bij toename hoogte hal	53
Afbeelding 42: Palenraster 4x4 vs palenraster 2x2	54
Afbeelding 43: aanduiding getoetste LCA data voor product in MRPI-MPG webtool	56
Afbeelding 44: Vergelijking alle LCA data getoetst (kleine hallen)	57
Afbeelding 45: Vergelijking alle LCA data getoetst (grote hallen)	58
Afbeelding 46: Percentielscores P90 tot en met P50 in €/m ² BVO·jaar	59

1 Inleiding

De Milieuprestatieberekening Gebouwen (MPG berekening) is vanaf 1 januari 2013 een verplicht onderdeel van de aanvraag van de omgevingsvergunning. De berekening is verplicht voor kantoren groter dan 100 m² en voor alle woningtypen. Een eis aan de uitkomst van de MPG berekening wordt sinds 1 januari 2018 gesteld door een grenswaarde in te voeren. De grenswaarde is voor woningen en kantoren beide 1 €/m²BVO·jaar) met als uitgangspunt een forfaitaire levensduur van 75 jaar voor woningen en 50 jaar voor kantoren.

Het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) heeft beleid geformuleerd met een aantal aandachtspunten:

- Bepaal ook voor andere gebruiksfuncties een grenswaarde;
- Onderzoek hoe de grenswaarde na verloop van tijd is aan te scherpen.

In dit rapport wordt de mogelijkheid voor het instellen van een grenswaarde aan de MPG berekening van hallen onderzocht.

De opbouw van het rapport is als volgt:

- Hoofdstuk 1 is de inleiding met de aanleiding en het doel van dit onderzoek;
- Hoofdstuk 2 beschrijft de onderzoeksopzet;
- Hoofdstuk 3 bespreekt de resultaten van de MPG berekeningen voor hallen met een BREEAM label;
- Hoofdstuk 4 legt uit wat het parametrisch model is en waarom en hoe het wordt ingezet om de MPG berekeningen te genereren;
- Hoofdstuk 5 beschrijft in detail de invoerparameters voor de verschillende gebouwonderdelen van het parametrisch model;
- Hoofdstuk 6 laat de resultaten van de MPG scores zien door middel van percentielscores voor een serie individuele hallen en over het geheel van beoordeelde hallen;
- Hoofdstuk 7 is de gevoeligheidsanalyse voor een aantal aspecten die aangegeven waren in de opdracht;
- Hoofdstuk 8 bespreekt de voortschrijdende inzichten die gedurende gesprekken met de opdrachtgever naar voren kwamen en waarmee met het parametrisch model een inzicht in te geven was;
- Hoofdstuk 9 vat de resultaten van de MPG scores, gevoeligheidsanalyse en de voortschrijdende inzichten samen;
- Hoofdstuk 10 bevat de conclusies en aanbevelingen.

2 Onderzoeksopzet

2.1 Onderzoeksopdracht

De originele onderzoeksopdracht van de KBG¹ is:

- Wat is de MPG score voor een standaard ontwerp van een gemiddelde industriehal uit de praktijk in €/ (m²BVO·jaar) voor de gebouwonderdelen uit de Bepalingsmethode ?
- Wat zijn redelijke en aanvaardbare waarden van de range waarbinnen de MPG score van een industriehal ligt ?
- Wat is de invloed van de verschillende gebouwonderdelen op de MPG score:
 - Fundering;
 - Vloer;
 - Draagconstructie;
 - Gevel;
 - Dak;
 - Installaties;
 - Inbouw ?
- Wat is de invloed van regelgeving op de MPG score op het gebied van:
 - Energie;
 - Brand ?
- Welke ontwerpvariabelen hebben invloed op de MPG score:
 - Isolatie eisen: R_c;
 - Kraanbaan;
 - Dak met zonnepanelen (PV) ?

2.2 Voortschrijdende inzichten uit het onderzoek

Lopende het onderzoek is meer in detail gekeken naar de invloed van een aantal extra ontwerpvariabelen die invloed kunnen hebben op de MPG score. Dit zijn:

- Impact fundering: wat is het effect van een schaalbare funderingspaal ?
- Locatie: grondgesteldheid en windbelasting;
- Hoogte: de hoogte varieert bij een hal behoorlijk vergeleken bij een woning of kantoor;
- Functie: een distributiecentrum (hoge belasting) of vrieshuis (complexe installatie);

Verder wordt aandacht besteed aan:

- Wat gebeurt er als er lagere MPG eisen zouden worden opgelegd door de overheid ?
- Wat is het effect van ongetoetste data in de productkaarten ?
- Wat zijn de beperkingen van de rekeninstrumenten waardoor het invoeren een industriehal tot onvoldoende nauwkeurige resultaten leidt ?

¹ De KetenBeleidsGroep (KBG) vertegenwoordigt de volledige toeleverende Metaalketen en heeft als doel belemmeringen bij de toepassing van metaal te identificeren, te onderzoeken en weg te nemen.

2.3 Methode van onderzoek

De huidige grenswaarde voor de MPG berekening voor woningbouw en de grenswaarde voor de MPG berekening voor kantoren ($> 100\text{m}^2$) zijn bepaald nadat in de periode januari 2013 tot januari 2018 ervaring was opgedaan in de praktijk. Op basis van deze historische resultaten en de behaalde MPG scores is op 1 januari 2018 een grenswaarde ingevoerd.

Omdat voor hallen geen MPG berekening is vereist zijn er in de praktijk nog geen berekeningen gemaakt en dus ook geen resultaten die als basis kunnen dienen om direct een grenswaarde voor de MPG berekening van hallen te bepalen.

Wel vraagt de het BREEAM label (ontwikkeld door de DGBC) een MPG berekening voor hallen die het BREEAM keurmerk willen behalen. De DGBC heeft voor ongeveer 80 hallen de resultaten verstrekt van deze berekening. Daarbij wordt opgemerkt dat voor ongeveer slechts 7 hallen de resultaten rechtstreeks bruikbaar zijn omdat voor de MPG berekening gebruik is gemaakt van de meest recente versie van de Milieudatabase. Zie hoofdstuk 3 met een uitgebreide analyse van de MPG scores van de BREEAM hallen.

Met een zogenoemd parametrisch model zijn meer representatieve MPG berekeningen gegenereerd waardoor een bredere basis ontstaat voor een grenswaarde voor de MPG berekening voor hallen. Zie hoofdstuk 4 met de beschrijving van het parametrisch model.

Vervolgens worden de originele vragen uit de opdracht beantwoord en de voortschrijdende inzichten uitgewerkt waarna de conclusies van het onderzoek volgen.

3 MPG berekeningen van hallen met BREEAM label

3.1 Geleverde gegevens

Het BREEAM-NL label is opgezet door de Dutch Green Building Council (DGBC) en heeft als doel inzicht te geven in de prestatie van het project op duurzaamheid. Met het label kan de eigenaar aan de markt tonen wat de duurzame prestatie van het gebouw is.

BREEAM-NL beoordeelt duurzaamheid in de volle breedte en is een integraal duurzaamheidskeurmerk dat het gebouw beoordeelt op negen verschillende duurzaamheidscategorieën waaronder energieverbruik, gezondheid, ecologie, afval en materiaalgebruik. Onder de categorie materiaalgebruik valt het maken van een MPG berekening voor hallen. In de afgelopen jaren is ervaring opgedaan met deze berekening en de DGBC heeft van een kleine 100 hallen op detailniveau gegevens verstrekt van deze berekening. Dit zijn:

- Locatie: plaatsnaam;
- Bruto Vloer Oppervlak (BVO): het BVO is het oppervlak meegenomen in de MPG berekening;
- Functie: naast de industriefunctie zijn er ook hallen gecombineerd met een kantoorfunctie, een bijeenkomst functie en enkele met een winkelfunctie.
- Versie Milieudatabase (NMD): de MPG berekening is gedaan met NMD1.8 tot en met NMD2.3;
- MPG score: dit zijn de MPG scores per gebouwonderdeel en totaal;
- Levensduur: de levensduur is voor alle hallen 50 jaar;
- Geometrie: gegeven zijn lengte, breedte en hoogte van de hal;
- PV panelen: gegeven is het oppervlak van PV panelen in vierkante meter;
- Distributiecentrum of andere functie.

Bij de analyse zijn alleen hallen meegenomen waar de industriefunctie meer dan 80% van het totale BVO omvat. Verder zijn enkele hallen weggelaten met een vorm die afwijkt van de rechthoek (bijv. driehoek, U-vorm). Totaal blijven ongeveer 80 hallen over voor de analyse. Over het algemeen zijn het hallen met een hoog ambitieniveau op gebied van duurzaamheid; het ligt in de verwachting dat de MPG scores lager zijn dan van meer doorsnee hallen zonder hoog ambitieniveau.

3.2 Analyse

De data worden op een aantal aspecten nader beschouwd.

Combinatie van functies

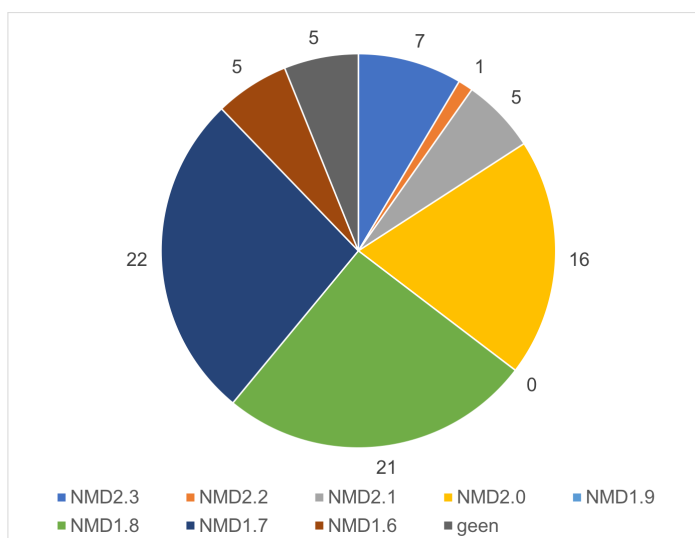
De dataset bevat 100 BREEAM-NL gecertificeerde gebouwen met (combinaties van) 9 functies te weten:

- Kantoor;
- Winkel;
- Wonen;
- Onderwijs;
- Industrie;
- Logies;
- Bijeenkomst;
- Datacenter;
- Overig.

Het totale bruto vloer oppervlak (BVO) is voor 91% industrie, 4% kantoor, 2% bijeenkomst en de andere functies hebben een verwaarloosbaar aandeel in het BVO. Per individuele industriehal kan de verhouding tussen de functies anders liggen. Voor de analyse worden alleen de gebouwen meegenomen waarbij de industrie functie meer dan 80% van het BVO omvat. Dan blijven er nog 80 hallen (~ 80%) over.

Versie Nationale Milieudatabase (NMD)

In de loop der jaren zijn er telkens nieuwe versies van de NMD uitgebracht met nieuwe producten en verouderde producten die verwijderd zijn (Afbeelding 1).



Afbeelding 1: Aantal hallen op basis van verschillende versies van de Nationale Milieudatabase (NMD)

De laatste versie van de NMD is NMD2.3 die representatief is voor de huidige praktijk. Afbeelding 1 laat zien dat van de 80 hallen slechts 7 hallen met deze NMD zijn berekend.

Totale schaduwkosten en verdeling over de gebouwonderdelen

De schaduwkosten zijn verdeeld over de volgende gebouwonderdelen: fundering, gevels, binnenwand, vloeren, daken, installaties en inrichting. Draagconstructies is geen apart gebouwonderdeel maar de schaduwkosten worden door de gebruiker veelal op de volgende manier ingevuld[1]:

- Fundering: onder fundering;
- Dragende buitenwanden en kolommen in de gevel: onder gevels;
- Dragende binnenwanden, kolommen tussen binnenwanden en losstaande kolommen: onder binnenwanden;
- Vloeren (begane grondvloer en verdiepingsvloeren): onder vloeren;
- Dakvloer: onder daken;

Onder inrichting vallen verlaagde plafonds, afwerking sanitaire ruimte, balustrade, hekken, bordessen en bijvoorbeeld verven[2].

Voor alle gebouwonderdelen en de totale MPG score is het 90^e percentiel (P90) bepaald (Tabel 1). Dit is de waarde waarbij 90% van de uitkomsten uit de dataset lager ligt dan deze waarde.

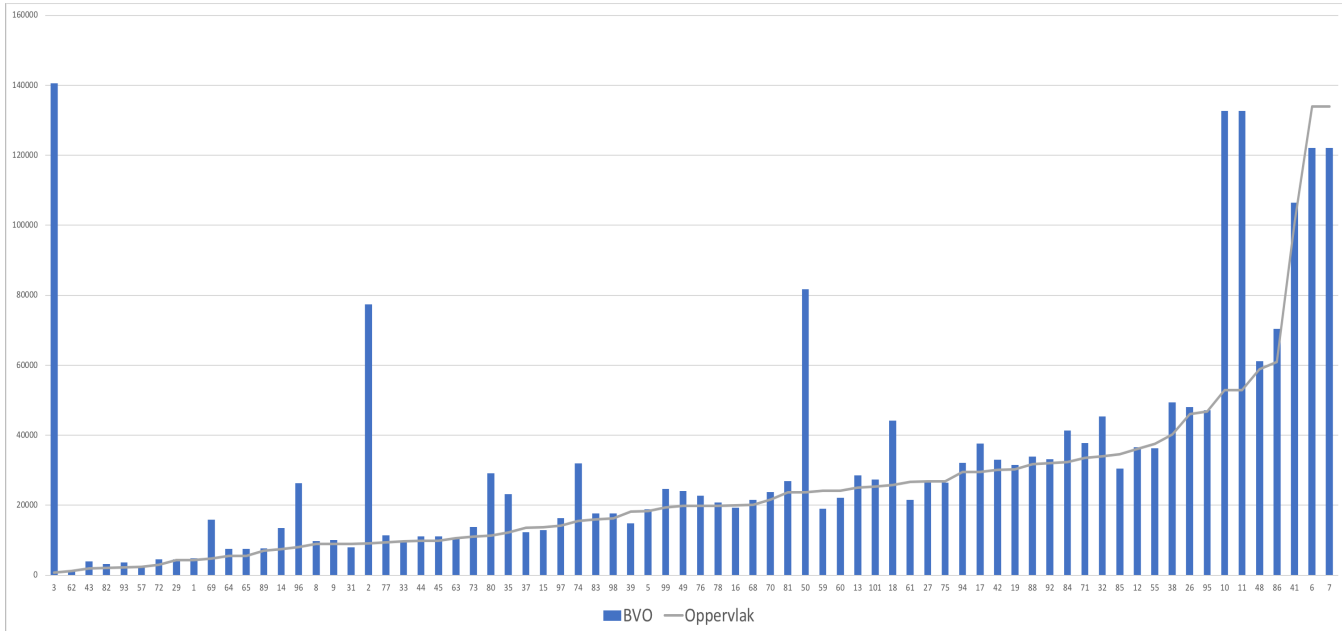
Tabel 1: 90^epercentiel van de schaduwkosten op gebouwonderdelen van de 80 BREEAM hallen in €/m²BVO·jaar) jaar .

	90 ^e percentiel (P90)
Fundering	0,150
Gevels	0,095
Binnenwand	0,090
Vloeren	0,180
Draagconstructie	---
Daken	0,130
Installaties	0,386
Inrichting	0,050
Totaal	0,815

² Communicatie ir. R. Van der Helm, programmamanager DGBC
MPG-grenswaarde voor industriehallen

BVO vs grondoppervlak

Het bruto vloer oppervlak (BVO) is een parameter in de berekening van de MPG score. Bij hallen is het BVO vaak gelijk aan het grondoppervlak (lengte maal breedte). In de BREEAM praktijk is het BVO in een aantal gevallen (beduidend) hoger dan het oppervlak. Dit kan doordat de hal deels verdiepingen heeft of doordat stellingen zijn meegenomen in het BVO. Zie de toelichting in Afbeelding 2.



Verklaring hoge BVOs (blauwe kolommen)

- 2/3 = stellingen als verdiepingen
- 10+11 = meerdere verdiepingen
- 18 = deels 2 verdiepingen
- 50 = 2 verdiepingen
- 69 = deels 2 verdiepingen
- 74/80 = deels meerdere verdiepingen

Afbeelding 2: BVO (blauw) versus grondoppervlak (grijs) gesorteerd op oppervlak van klein naar groot.

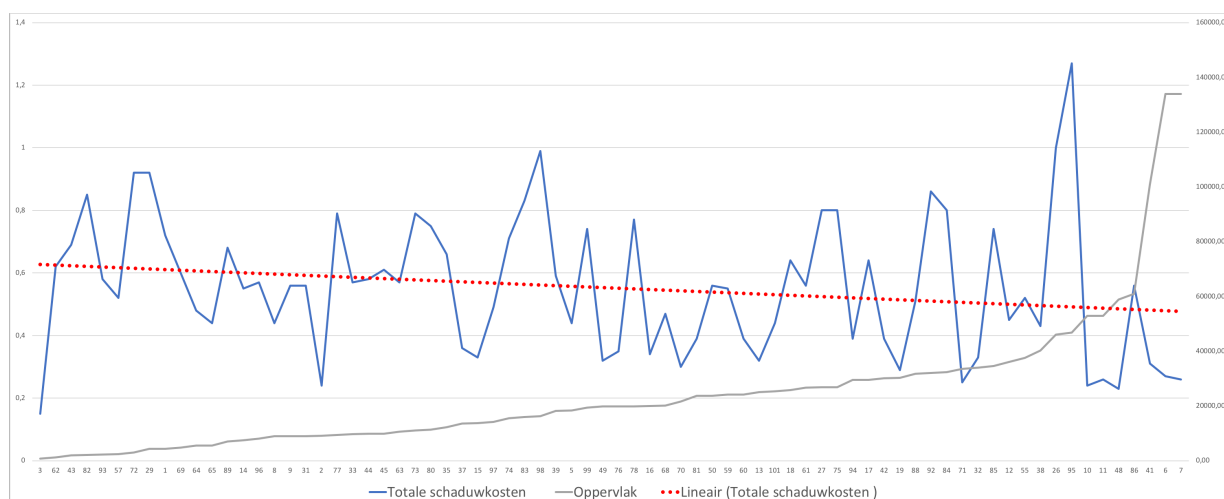
Schaduwkosten vs oppervlak

Veel distributiecentra (bijvoorbeeld bol.com of Lidl) behalen een BREEAM-NL label. Dit zijn over het algemeen relatief grote hallen en dat kan invloed hebben op de totale schaduwkosten. Tabel 2: Verdeling oppervlak en hoogte BREEAM hallen laat zien dat 90% van de hallen kleiner is dan 46000 m² en dat het gemiddelde oppervlak ongeveer 25000 m² is. Ook zijn de hallen relatief hoog met een gemiddelde hoogte van ongeveer 14 m.

Tabel 2: Verdeling oppervlak en hoogte BREEAM hallen

Oppervlak		Waarde	Eenheid
90 ^e percentiel		46461	m ²
max		133952	m ²
min		815	m ²
gem		24808	m ²
Hoogte			
90 ^e percentiel	=	16,9	m
max	=	35,0	m
min	=	7,9	m
gem	=	13,7	m

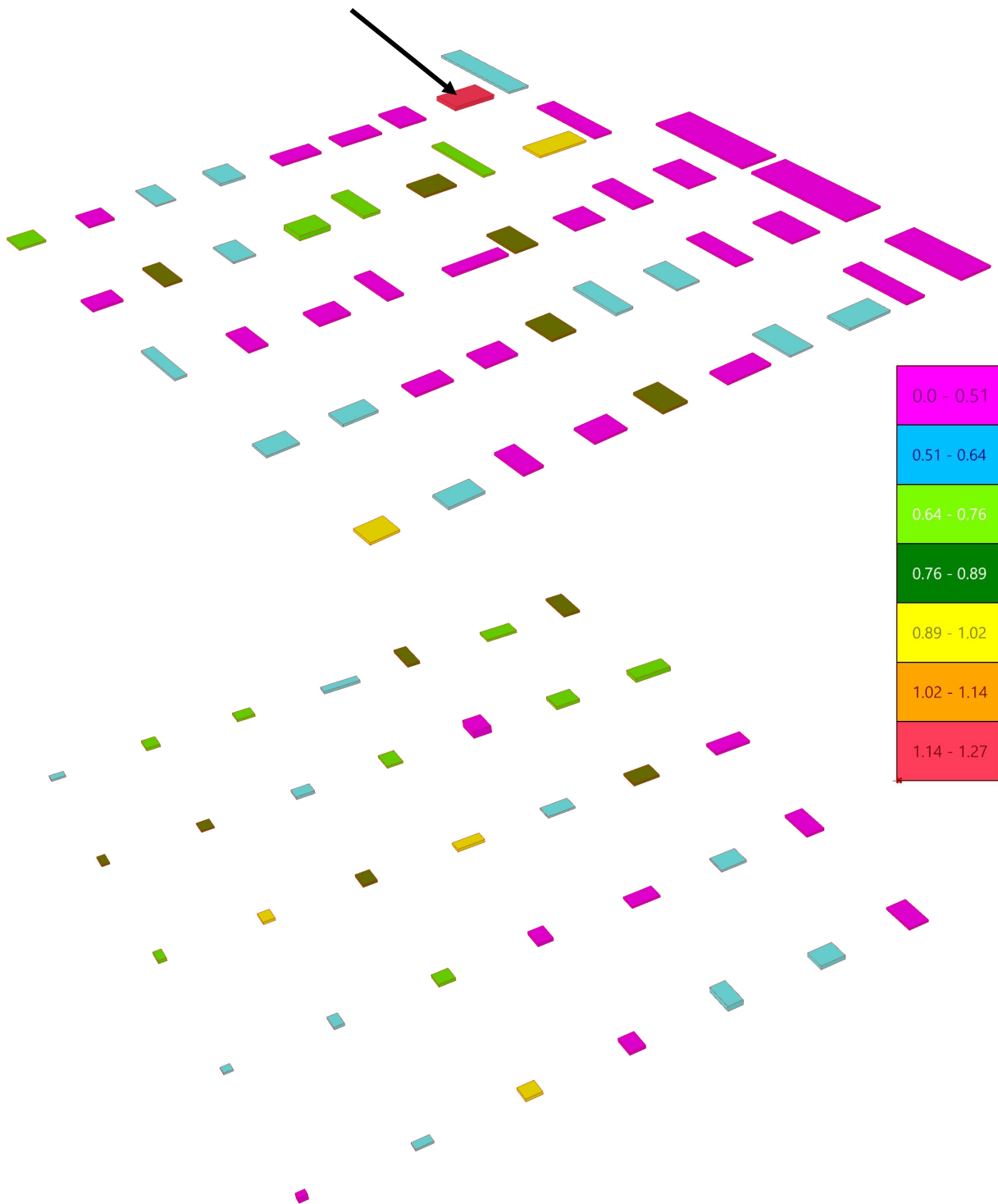
Afbeelding 3 laat de totale schaduwkosten zien bij een oplopend grondoppervlak van de hal met aan de linkerzijde de as voor de schaduwkosten in €/m²BVO·jaar) en aan de rechterzijde de as voor het grondoppervlak.



Afbeelding 3: Totale schaduwkosten (€/m²BVO·jaar, links) per hal bij grondoppervlak (m², rechts) van de hal.

De rode stippellijn geeft de trend van de totale schaduwkosten en laat zien dat de totale schaduwkosten bij grotere hallen over het algemeen lager worden.

De BREEAM hallen worden gesorteerd op grootte van het grondoppervlak en de bijbehorende MPG scores worden ingelezen in een submodel van het parametrisch model dat de hallen een kleur geeft afhankelijk van de MPG score. Het model staat in bijlage B en de visualisatie is Afbeelding 4.

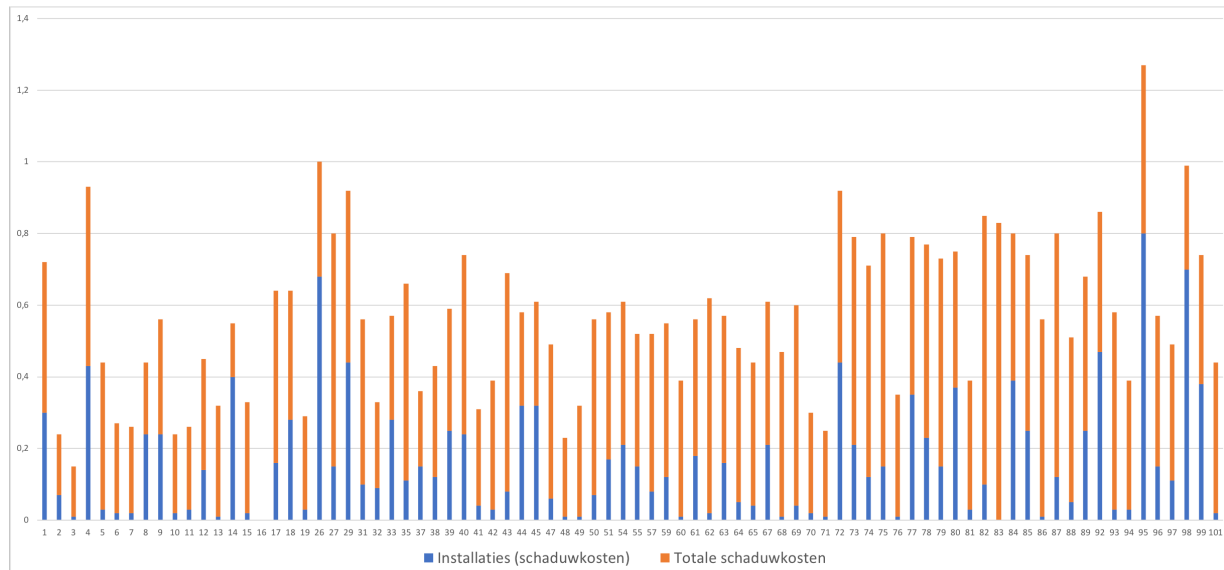


Afbeelding 4: Visualisatie MPG scores BREEAM hallen bij oplopend grondoppervlak.

De visualisatie is in twee delen geknipt met onder de kleine hallen en boven de grote hallen. Van linksonder naar rechtsboven wordt het grondoppervlak van de hal groter. Paarse hallen hebben een MPG score onder de 0,51 en blauwe hallen een MPG score tussen 0,51 en 0,64. Deze 'gunstige' kleuren komen meer voor naar rechts. Uitzondering is de rode hal bijna boven aan (zie pijl) met een MPG score van 1,27. Dit is een MPG score waarmee geen enkele credit behaald wordt op de BREEAM MAT1 categorie.

Aandeel installaties in totale schaduwkosten

Het 90^e percentiel (0,39) is relatief hoog voor installaties en bepaalt voor een groot gedeelte de totale schaduwkosten (Afbeelding 5).



Afbeelding 5: Aandeel installaties (blauw) relatief hoog in de totale schaduwkosten (oranje) van de hal.

Hallen met koel/vries functie

De verschillende processen die in een hal moeten plaatsvinden stellen verschillende eisen aan het gebouw terwijl een kantoor en een woning voor praktisch altijd hetzelfde proces worden ontworpen. Zo zijn de bouwkundige en installatietechnische eisen aan een koel/vries distributiecentrum hoger dan bijvoorbeeld een werkplaats. Tabel 3 laat voor de hallen met een koel/vries functie (10 totaal) het 90^e percentiel zien voor de totale schaduwkosten en de schaduwkosten voor de installaties gerelateerd aan dezelfde percentielen voor alle BREEAM hallen.

Tabel 3: P90 installaties en P90 totale schaduwkosten voor hal met koel-vries functie versus alle hallen.

	P90, koel-vries	P90, alle hallen
installaties	0,29	0,39
totaal	0,83	0,82

De schaduwkosten voor de installaties van koel-vries hallen zijn lager dan bij de alle hallen en de totale schaduwkosten zijn ongeveer gelijk. Daarmee lijkt een koel-vries functie geen invloed te hebben op de totale schaduwkosten. Opgemerkt wordt dat er data is van slechts 10 hallen wat te weinig is om een generieke conclusie te trekken. Meer in detail blijkt dat de hoogste waarden voor installaties (0,28 en 0,39) combineren met een relatief hoog oppervlak aan PV panelen (respectievelijk 21% en 15%). BREEAM staat toe dat [3] (grote) koelinstallaties voor koel-vries hallen niet meegenomen hoeven te worden omdat ze gerekend worden tot procesgebonden installaties.

PV panelen vs schaduwkosten installaties

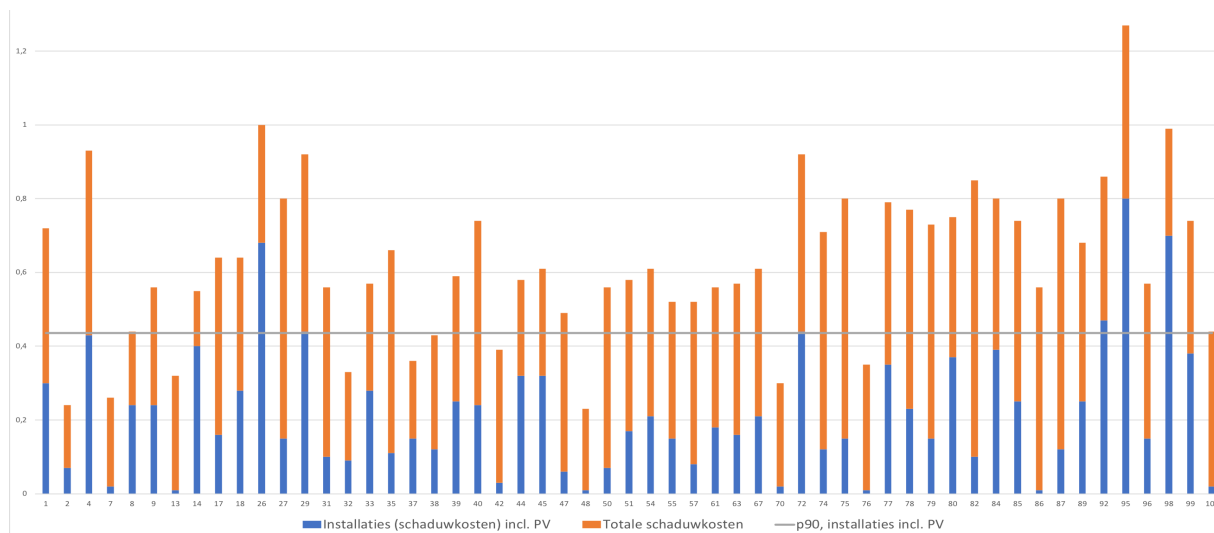
Afbeelding 6 laat zien dat installaties (0,39) een relatief groot aandeel hebben in de totale schaduwkosten van de hal. PV panelen vallen onder installaties en ongeveer 2/3^{de} van de in totaal 80 hallen heeft PV panelen op het dak. De statistische kenmerken staan in Tabel 4.

³ communicatie ir. R. Van der Helm, programmamanager DGBC
MPG-grenswaarde voor industriehallen

Tabel 4: Statistische kenmerken PV panelen op dak hallen met PV panelen.

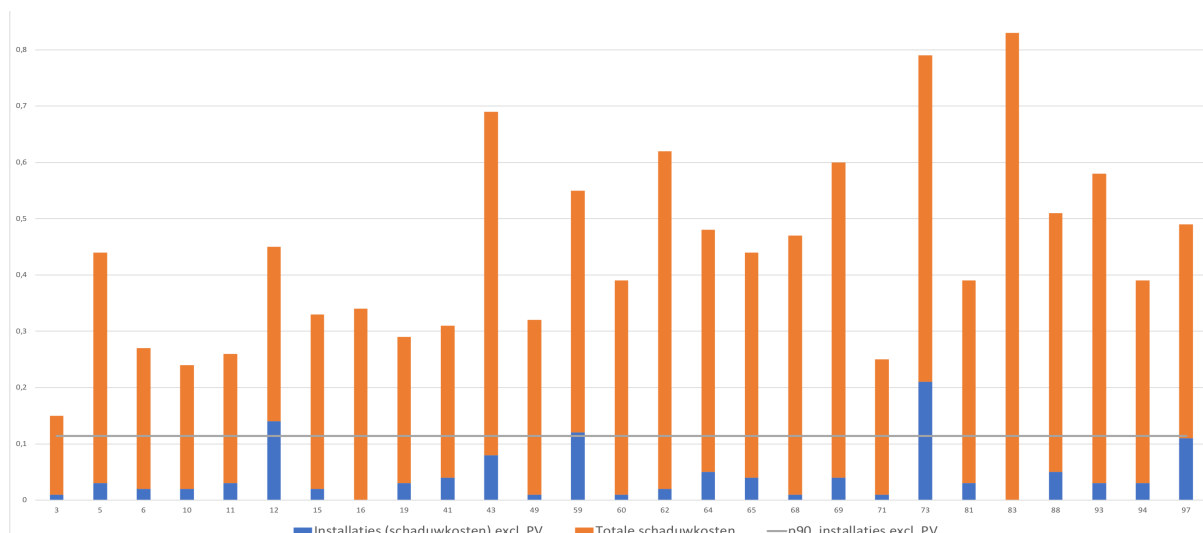
%PV op dak	41	% (90 ^e percentiel)
max	67	%
min	1	%
gem	20	%

Afbeelding 6 en Afbeelding 7 laten voor hallen met PV panelen en hallen zonder PV panelen de schaduwkosten voor de installaties en de totale schaduwkosten zien. Het 90^e percentiel voor de installaties voor hallen met PV panelen is 0,44 (Afbeelding 6).



Afbeelding 6: Schaduwkosten installaties en totale schaduwkosten voor hallen MET PV.

Het 90^e percentiel voor de installaties voor hallen zonder PV panelen is 0,11 (Afbeelding 7).



Afbeelding 7: Schaduwkosten installaties en totale schaduwkosten voor hallen ZONDER PV.

Het 90^e percentiel (P90) voor de installaties voor alle hallen is 0,39 terwijl P90 voor hallen zonder PV panelen 0,11 is en P90 voor hallen met PV panelen 0,44 is. Dit laat zien dat PV panelen een grote invloed hebben op de P90 voor installaties. Wel neemt BREEAM alle PV panelen op het dak mee voor de MPG berekening terwijl de Bepalingsmethode voorschrijft dat alleen de PV panelen die de gebouwgebonden energie opwekken hoeven worden meegenomen.

4 Het parametrisch model

4.1 Techniek

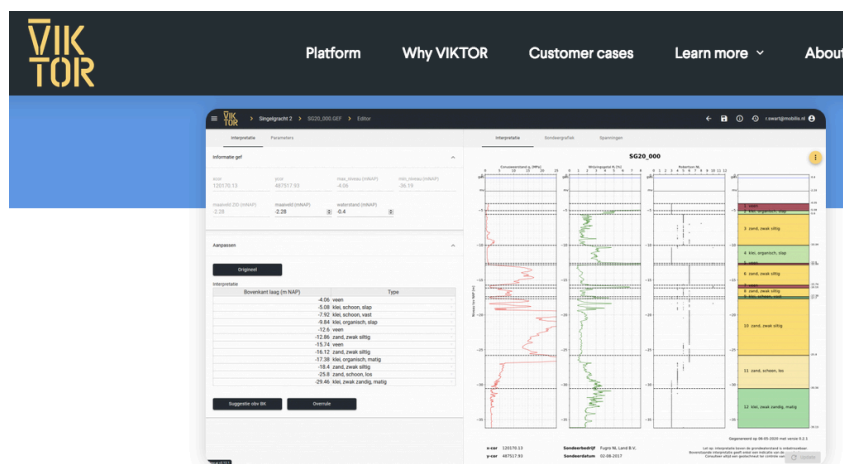
Parametrisch ontwerpen is een proces waarbij op basis van data of relaties tussen onderdelen een ontwerp kan worden gegenereerd. Daarmee is het mogelijk om snel en prestatiegericht modellen te genereren, verschillende scenario's te testen en prestaties inzichtelijk te maken terwijl handmatig slechts een beperkt aantal mogelijkheden onderzocht kan worden.

In de praktijk wordt parametrisch ontwerpen ingezet door vooraanstaande architecten- en ingenieursbureaus. Een voorbeeld is het Louvre Abu Dhabi van architect Ateliers Jean Nouvel waar met parametrisch ontwerpen de verschillende patronen in de constructie van het koepeldak zijn gegenereerd.



Afbeelding 8: Parametrisch ontwerpen ingezet door Ateliers Jean Nouvel voor het Louvre Abu Dhabi.

In Nederland heeft ingenieursbureau Royal Haskoning DHV een afdeling voor parametrisch ontwerpen en gebruikt bouwer Mobilis parametrisch ontwerpen om het beoordelen van series sonderingen te automatiseren. Daarvoor wordt het platform van Viktor (www.viktor.ai) gebruikt (Afbeelding 9).



Afbeelding 9: Parametrisch ontwerp van sondering door Mobilis op het Viktor.ai platform.

Een simpel voorbeeld van het parametrische principe is de spreadsheet. Als cel C het resultaat geeft van cel A maal cel B dan verandert cel C automatisch mee als de invoer van cel B of cel A verandert. Door achtereenvolgens een serie van bijvoorbeeld 10 waarden in cel B in te voeren worden 10 uitkomsten in cel C gegenereerd. Dit principe is goed bruikbaar bij deze studie.

4.2 Functie/doel parametrisch model

Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 zijn er geen MPG berekeningen beschikbaar omdat de MPG berekening wettelijk niet verplicht is voor hallen. Er zijn weliswaar resultaten van MPG berekeningen beschikbaar gesteld door de DGBC voor hallen die een BREEAM label hebben behaald maar een beperkt aantal is bruikbaar vanwege het gebruik van de juiste NMD-versie. Met het parametrisch model is het mogelijk meer MPG berekeningen te genereren om zo tot breder onderbouwde conclusies te komen. Hoe dit precies gaat wordt uiteengezet in de volgende paragrafen.

4.3 Principe van de MPG berekening volgens de Bepalingsmethode

De methodiek van de MPG berekening is vastgelegd in de Bepalingsmethode[1]. De Bepalingsmethode schrijft voor welke gebouwonderdelen meegenomen moeten worden bij de MPG berekening (afbeelding 10). Dit zijn:

- Fundering;
- Vloeren;
- Draagconstructie;
- Gevels;
- Daken;
- Installatie;
- Inbouw.

De complete rekenmethodiek is opgenomen in diverse rekeninstrumenten waarmee de MPG berekening met een druk op de knop gemaakt wordt. Beschikbare rekeninstrumenten zijn:

- GPR Bouwbesluit van W-E Adviseurs[2];
- DGBC materialentool van BREEAM[3];
- MPG calc van DGMR[4];
- MRPI-MPG tool van Stichting MRPI[5].

Alle software werkt met een interface die volgens een vast stramien is ingericht met specifieke bouwproducten en allen werken met LCA data uit de Nationale Milieudatabase. De rekeninstrumenten zijn getoetst door SBK en geven dezelfde uitkomsten. Voor dit onderzoek wordt de gratis en webbased MRPI-MPG tool gebruikt. De gebouwonderdelen uit de Bepalingsmethode staan in het openingsscherm van de tool (Afbeelding 10).

Afbeelding 10: Openingsscherm met links (rood) de verplichte gebouwonderdelen voor de MPG berekening.

Op dit moment behandelt de Bepalingsmethode kantoorgebouwen en woongebouwen maar dezelfde indeling kan gebruikt worden voor een hal. Het opengeklapte menu in afbeelding 10 laat dan ook alleen als keuze “woongebouw” of “kantoorgebouw” zien.

Elk gebouwonderdeel is verder onderverdeeld in subonderdelen. Onder de subonderdelen kiest de gebruiker vervolgens concrete producten of materialen (Afbeelding 11).

Invoer per element			
Funderingsbalken			
Product (☐ Ongetoetst ☒ Getoetst)	Aantal	Dimensie 1	Dimensie 2
☒ ☒ Beton, prefab; AB-FAB	1 m1	600	400
☐ ☐ Beton, in het werk gestort, C20/2...			
☐ ☐ Beton, in het werk gestort, C30/3...			
☐ ☒ Betonhuis; beton, in het werk ges...			
☐ ☒ Betonhuis; beton, in het werk ges...			
☐ ☒ Betonhuis; beton, in het werk ges...			
☐ ☒ Betonhuis; beton, in het werk ges...			

Afbeelding 11: Subonderdelen van de gebouwonderdelen met beschikbare productkeuzes, aantal en dimensies.

Voor de funderingsbalk in Afbeelding 11 krijgt de gebruiker 7 productkeuzes (parameter 1). Als voorbeeldproduct is voor de funderingsbalk “Beton prefab AB-FAB” aangevinkt. Vervolgens laat Afbeelding 11, 3 aanvullende parameters zien waarmee voor het subonderdeel funderingsbalken totaal 4 parameters heeft die de gebruiker kan invullen. Dit zijn:

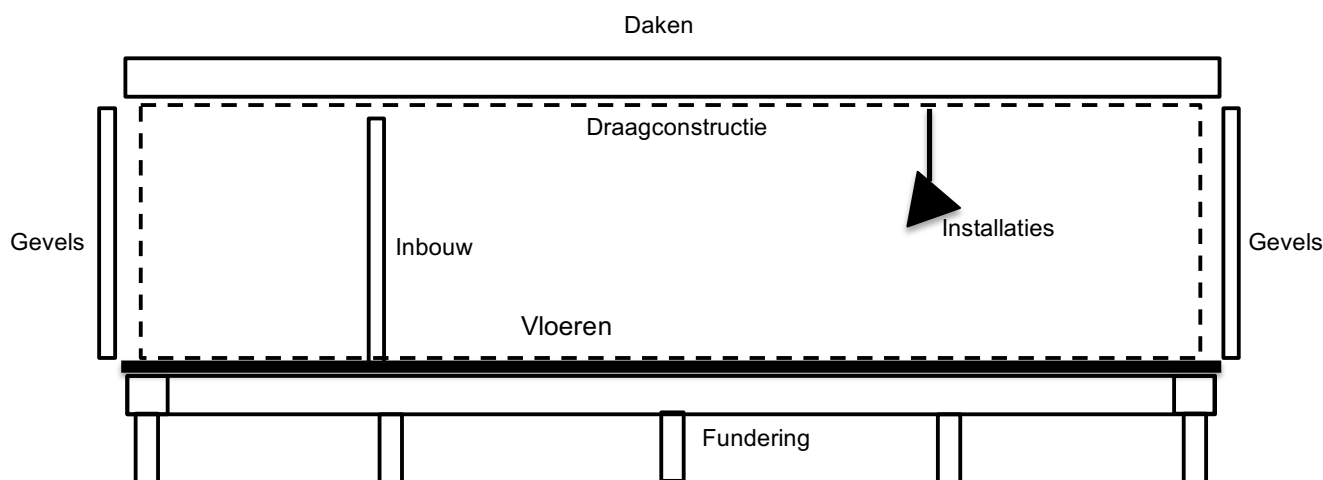
1. Product: type beton funderingsbalk;
2. Aantal: aantal strekkende meter (m1) funderingsbalk;
3. Dimensie 1: hoogte van de funderingsbalk (mm);
4. Dimensie 2: breedte van de funderingsbalk (mm).

Met de invoerparameters 2,3,4 rekent de tool de hoeveelheid uit. Vervolgens wordt deze hoeveelheid gekoppeld aan het materiaal (invoerparameter 1) en het bijbehorende milieuprofiel uit de Nationale Milieudatabase. De hele tool bevat ongeveer 130 subonderdelen met daaronder 1400 verschillende producten die allen volgens hetzelfde principe worden ingevoerd. Na invoeren van alle parameters en de materiaalkeuze voert de tool de MPG berekening uit en bepaalt de uiteindelijke MPG score in $\text{€}/(\text{m}^2\text{BVO} \cdot \text{jaar})$.

Om tot een serie MPG berekeningen te komen moet elke variant met de hand ingevoerd worden wat tijdrovend is en met kans op fouten. Met het parametrisch model kan dit werk worden geautomatiseerd.

4.4 Principe parametrisch model

De hal wordt schematisch beschreven in de doorsnede (Afbeelding 12) met de gebouwonderdelen uit de bepalingmethode.



Afbeelding 12: Schematische doorsnede van de hal met voorgeschreven gebouwonderdelen uit de Bepalingsmethode.

Vervolgens worden voor elk gebouwonderdeel de subonderdelen ingevuld die samen het gebouwonderdeel vormen. Voor elk subonderdeel worden de 4 parameters ingevuld waarbij per parameter veelal een aantal opties mogelijk zijn.

1. Product: producten toegepast bij hallen voor het subonderdeel;
2. Aantal: hoeveelheid wordt bepaald door het parametrisch model met geometrie;
3. Dimensie 1: op basis praktijk van een hallenbouw;
4. Dimensie 2: op basis praktijk van hallenbouw.

Het type producten dat bij een specifiek subonderdeel veelal wordt toegepast in de hallenbouw volgt uit het bouwkundig en constructief ontwerp van de hal. Hetzelfde geldt voor de dimensies. Bijlage D bespreekt praktijkvoorbeelden waaruit realistische waarden komen voor de invoer.

Op basis van de verschillende opties voor de parameters genereert het parametrisch model een serie MPG berekeningen voor representatieve hallen als aanvulling op de praktijkgegevens van BREEAM.

Opgemerkt wordt dat, ondanks de ruime keuze aan producten, het niet altijd mogelijk is om 1 op 1 het bouwkundig ontwerp in te voeren. Redenen zijn onder andere dat de Nationale Milieudatabase slechts een fractie van het totaal aantal bouwproducten bevat en dat producten specifiek voor de hallenbouw nog niet zijn toegevoegd omdat tot nu toe alleen MPG berekeningen voor woongebouwen en kantoren verplicht waren.

5 Invoer parametrisch model

5.1 Geometrie

Om een onderbouwd beeld te krijgen van de range aan potentiële MPG scores voor een range aan verschillende hallen in de rekeninstrumenten is een parametrisch model gebouwd. Het model heeft drie basisparameters te weten de breedte (B), de lengte (L) en de hoogte (H). De afmetingen (L en B) van de hal staan in Tabel 5.

Tabel 5: Lengte (L) en breedte (B) in meter combinaties voor het parametrisch model.

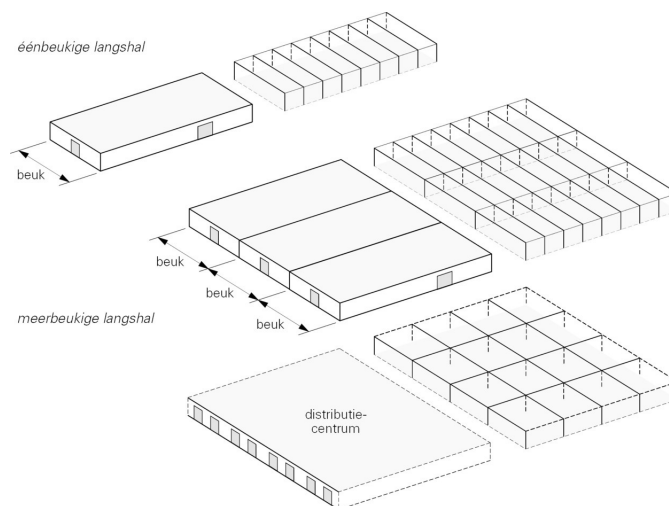
	Breedte [m]					
Lengte [m]	25	40	55	70	85	100
40	X	X	X	X	X	X
70	X	X	X	X	X	X
100	X	X	X	X	X	X
130	X	X	X	X	X	X
160	X	X	X	X	X	X

De hoogten (H) staan in Tabel 6. Omdat de hoogte bij een hal meer varieert dan bij woningen en kantoren zijn naar verhouding meer opties meegenomen.

Tabel 6: Hoogte (H) in meter voor het parametrisch model.

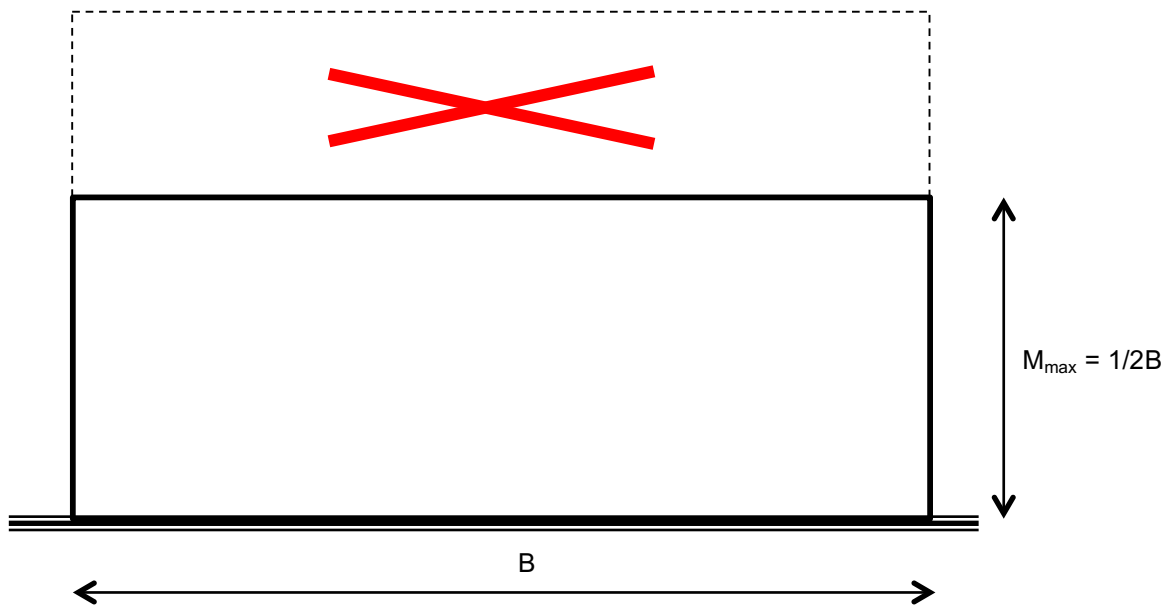
	Hoogte					
Waarde [m]	5	8	11	14	17	20

Het totaal aantal hallen die berekend worden is nu $6 \times 5 \times 6 = 180$ hallen. Uitgangspunt voor het model zijn de hal typologieën uit het Hallenboek⁶. Daarbij is kenmerk van een hal een relatief lage hoogte in verhouding tot de lengte en breedte wat een plat gebouw oplevert (Afbeelding 13).



Afbeelding 13: Een hal is een relatief plat gebouw.

In het model wordt de hoogte (H) beperkt tot de helft van de breedte om zo onevenredig hoge hallen uit het model te filteren (Afbeelding 14).



Afbeelding 14: Hoogte (H) wordt beperkt tot 1/2 maal de breedte (B).

Van de 180 hallen blijven 165 hallen over als de hoogte beperkt wordt tot maximaal de helft van de breedte.

Naast geometrie bevat het parametrisch model ook de gebouwonderdelen uit de Bepalingsmethode inclusief productkeuzes, aantal en dimensies. Het complete model staat in Bijlage A. In de volgende paragrafen van dit hoofdstuk wordt elk gebouwonderdeel in detail bekeken en worden afwegingen en keuzes gemaakt.

5.2 Materialisering en dimensies

5.2.1 Fundering

Funderingsbalken

Bijlage E laat de elementen (blauwe vinkjes) zien onder de subonderdelen *Funderingsbalken* en *Funderingspalen* die meegenomen worden bij het gebouwonderdeel *Fundering*. Daarbij worden de funderingspalen gesplitst in funderingspalen onder de funderingsbalk en funderingspalen onder de vloer.

Voor het subonderdeel *Funderingsbalk* wordt het vertalen van de Bepalingsmethode (MRPI-MPG webtool) naar het parametrisch model in detail uitgelegd (zie ook paragraaf 4.3). Voor de andere subonderdelen zullen de uitgangspunten verkort in een tabel worden gezet.

Afbeelding 15 laat zien hoe de webtool de gebruiker de funderingsbalk laat invoeren. Voor *Funderingsbalken* zijn 7 materiaalopties beschikbaar van “Beton, prefab; AB-FAB” tot en met “Betonhuis; beton, in het werk gestort”. De bijbehorende parameters zijn:

- Aantal in [m¹] : dit is de totale lengte van de funderingsbalken;
- Dimensie 1 in [mm¹] : dit is de breedte van de funderingsbalk;
- Dimensie 2 in [mm¹] : dit is de hoogte van de funderingsbalk.

Algemeen Fundering Bodemvoorzieningen Fundering Vloeren Draagconstructie Gevels Daken Installaties	Invoer per element			
	Funderingsbalken			
	Product (☐ Ongetoetst ☒ Getoetst)	Aantal	Dimensie 1	Dimensie 2
	☒ ☒ Beton, prefab; AB-FAB	m1	600	400
	☐ ☐ Beton, in het werk gestort, C20/2...			
	☐ ☐ Beton, in het werk gestort, C30/3...			
	☐ ☒ Betonhuis; beton, in het werk ges...			
	☐ ☒ Betonhuis; beton, in het werk ges...			
	☐ ☒ Betonhuis; beton, in het werk ges...			
	☐ ☒ Betonhuis; beton, in het werk ges...			

Afbeelding 15: Producten subonderdeel Fundering -> Funderingsbalken in de MRPI-MPG webtool.

In het parametrisch model wordt het aantal (=lengte funderingsbalken) automatisch berekend met de omtrek van de hal. De webtool vult bij elk product standaard een waarde in bij de dimensies. Dit is de default dimensie die de gebruiker eventueel kan veranderen als de afmeting van de funderingsbalk in zijn of haar project anders is. Als de door de gebruiker ingevoerde dimensies afwijken schaaft de webtool automatisch de milieubelasting mee. Om een goed beeld te krijgen van de daadwerkelijke dimensies van de producten zijn praktijkontwerpen onderzocht (Bijlage D, Bijlage O en Bijlage S). De waarden die volgen uit de praktijkontwerpen staan in Tabel 7.

Tabel 7: Fundering -> Funderingsbalk: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ¹]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]
Funderingsbalk	Omtrek	500 – 800	400 – 600

Funderingspalen onder funderingsbalk

Voor *Funderingspalen* zijn 13 materiaalopties beschikbaar (bijlage E). Het aantal is de totale lengte van de funderingspalen onder de funderingsbalk. Dit is afhankelijk van de hart-op-hart afstand van de palen en de lengte van de individuele paal. Een overzicht van de dimensies met waarden staan in Tabel 8:

Tabel 8: Fundering -> Funderingspalen onder funderingsbalk: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ¹]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]
Funderingspaal onder funderingsbalk	Omtrek/hoh*L	300	geen
Lengte funderingspaal [m]	0 – 6 – 12 – 24		
Hart-op-hart afstand [m]	5 – 10		

Funderingspalen onder vloer

Voor *Funderingspalen* zijn 13 materiaalopties beschikbaar (bijlage E) waarbij de palen onder de vloer in de meeste gevallen in de grond gevormde ongewapende vibro SD⁴ palen zijn. Deze zijn niet beschikbaar in de webtool (Afbeelding 16).

Afbeelding 16: Toelichting vibropaal subonderdeel Fundering -> Funderingsbalken in de MRPI-MPG webtool.

Afbeelding 16 geeft een voorbeeld dat het bouwkundig of constructief ontwerp niet overeenkomt met de invoermogelijkheden van de webtool. Het ontwerp is een ongewapende vibro SD paal met een diameter van 180 mm tot 220 mm. De vibropaal in de webtool heeft een diameter van 320 mm, is niet schaalbaar en bovendien bevat de vibropaal “middelzwaar constructiestaal” dat als wapening zou dienen.

⁴ Communicatie Ing. A. van den Bos: directeur DIANA FEA
MPG-grenswaarde voor industriehallen

Het aantal is de totale lengte van de funderingspalen onder de vloer. Dit is afhankelijk van het grid waarop de palen staan en de lengte van de individuele paal. Een overzicht van de dimensies met waarden staan in Tabel 9.

Tabel 9: Fundering -> Funderingspalen onder vloer: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ¹]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]
Funderingspaal onder vloer	Omtrek/hoh*L	geen	geen
Lengte funderingspaal [m]	0 – 6 – 12 – 24		
Grid [m]	1,7 – 2,5 - 4		

5.2.2 Vloeren

Bijlage F laat de elementen (blauwe vinkjes) zien onder de subonderdelen *Vloeren op grondslag*, *Isolatielagen* die worden meegenomen bij het onderdeel *Vloeren, begane grond*.

Vloeren op grondslag

Voor *Vloeren op grondslag* zijn 6 opties beschikbaar (bijlage F). Het aantal is het oppervlak van de vloer. Dit is gelijk aan het aantal vierkante meters BVO. Dimensie 1 is de dikte van de vloer.

Daarbij zijn er opties waarbij de gebruiker de dimensie(s) zelf kan wijzigen terwijl anderen alleen een default waarde hebben. De bijbehorende parameters met waarden voor de dimensies staan in Tabel 10.

Tabel 10: Vloeren, begane grond -> Vloeren op grondslag: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ²]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]
Vloeren op grondslag	BVO	0 – 70 – 140 – 210	geen

Isolatielagen

Voor *Isolatielagen* zijn 42 opties beschikbaar (bijlage F). Het aantal is het oppervlak van de vloer in vierkante meter of de inhoud van de isolatie in kubieke meter. Dimensie 1 is de R_c waarde of de dikte. Dit maakt het lastig om isolatieproducten gelijkwaardig in te voeren. De wettelijke isolatie-eis voor de vloer is 3,5 m²K/W.

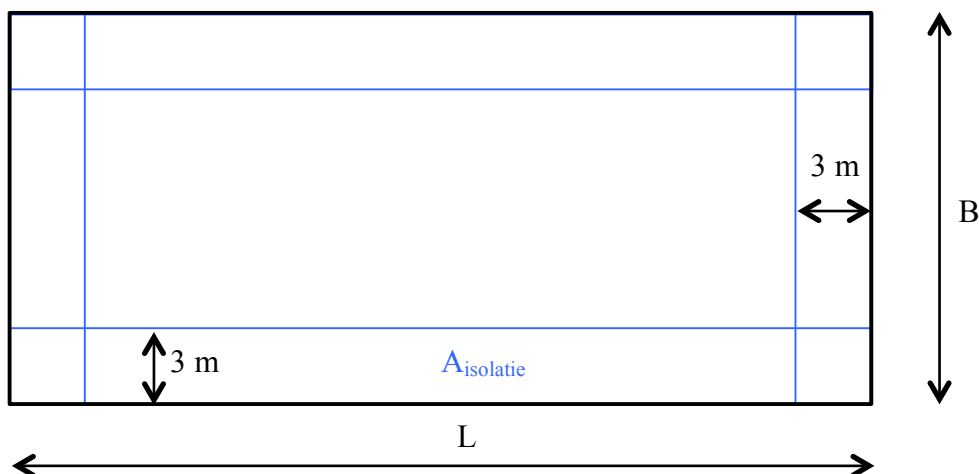
Daarbij zijn er opties waarbij de gebruiker de dimensie(s) zelf kan wijzigen terwijl anderen alleen een default waarde hebben. De bijbehorende parameters met waarden voor de dimensies staan in Tabel 11.

Tabel 11: Vloeren, begane grond -> Isolatielagen: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ²]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]	Toelichting
Isolatielagen	Oppervlak over rand van 3m	3,5 m ² K/W	geen	Wettelijke eis voor de vloer

Het is bij een bedrijfshal niet gebruikelijk om de gehele vloer te isoleren. Aangenomen wordt een rand van 3 m vanaf de gevel. De formule is:

$$A_{\text{isolatie}} = 2 * ((L-6) * 3 + B * 3)$$



Afbeelding 17: Schematische weergave vloer met daarin het isolatieoppervlak (strook van 3 m).

5.2.3 Draagconstructies

Voor *Hoofddraagconstructies*, *constructies* zijn 18 opties (bijlage G) beschikbaar verdeeld over 5 materialen (hout, staal, betonmortel, voorspanstaal en wapeningsstaal).

Draagconstructies heeft geen dimensie 1 en dimensie 2 maar het aantal is het totaal aantal kg (bijvoorbeeld kg staal of wapeningsstaal) of kubieke meter (betonmortel) dat wordt omgerekend naar kg/m^2 of m^3/m^2 . Bijlage D onderzoekt realistische waarden voor het aantal op basis van praktijkvoorbeelden. De bijbehorende parameters met waarden staan in Tabel 12.

**Tabel 12: Draagconstructie -> Hoofddraagconstructie -> constructies [kg]:
aantal+dimensies+parameters.**

Product	Aantal [kg/m^2]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]	Toelichting
Constructies: staal	20 – 50	geen	geen	
Constructies: beton	0,08 – 0,2	geen	geen	In m^3/m^2
Constructies: wapeningsstaal	5 - 12	geen	geen	Gecombineerd met beton

5.2.4 Gevels

De invoermogelijkheden in de MRPI-MPG webtool voor gevels zijn zeer groot (Afbeelding 18).

MRPI			Resultaten			Print	Help	Opslaan	Afsluiten
Algemeen	Invoer per element		Alle inklappen						
Fundering	Elementgevels	4	+						
Vloeren	Vliesgevels	10	+						
Draagconstructie	Spouwwanden, buitenblad	7	+						
Gevels	Spouwwanden, binnenblad, massief	17	+						
Gevels, dicht	Spouwwanden, binnenblad, systeem	17	+						
Gevels, open	Isolatielagen	59	+						
Daken	Bekledingen	59	+						
Installaties	Afwerklagen	7	+						
Inbouw			+						

Afbeelding 18: Categorieën voor dichte gevels in MRPI-MPG webtool met aantal keuzes (totaal 180).

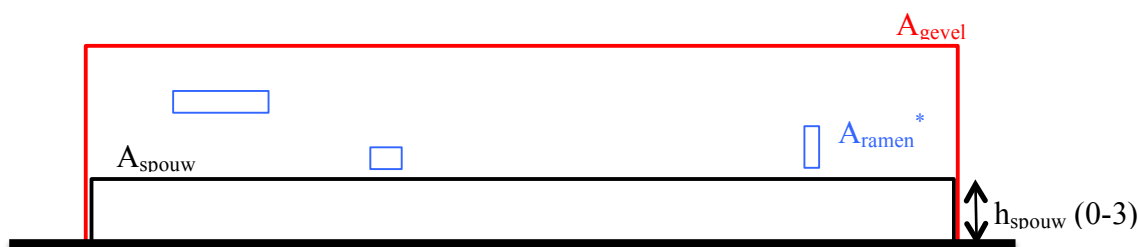
Toch kan het bouwkundig gevelontwerp van een hal niet precies worden ingevoerd. In de volgende paragrafen wordt toegelicht hoe de gevel in het model wordt meegenomen. Het onderdeel gevels is gesplitst in de onderdelen *Gevels, open* en *Gevels, dicht*.

Gevels, dicht

Bijlage H laat de elementen (blauwe vinkjes) zien onder de subonderdelen *Spouwwanden, buitenblad*, *Spouwwanden, binnenblad massief*, *Isolatielagen* en *Bekledingen* die worden meegenomen bij het onderdeel *Gevels, dicht*.

Het aantal is het deel van het oppervlak van de gevel voor elk subonderdeel. De oppervlakken van de elementen van de gevel hangen met elkaar samen en zijn opgeteld gelijk aan het totale oppervlak van de gevel (Afbeelding 19). Een eenvoudige formule is afgeleid voor elk oppervlak en ingebouwd in het parametrisch model. Het oppervlak van de ramen is bij hallen verwaarloosbaar en wordt in deze studie niet van het geveloppervlak afgetrokken om de opties te beperken. De formules zijn:

$$\begin{array}{llll}
 \text{Spouwwanden, bu} & = & A_{\text{spouw}} & = h_{\text{spouw}} \times \text{omtrek} \\
 \text{Spouwwanden, bi} & = & \text{spouwwanden, bu} & \\
 \text{Isolatielagen} & = & A_{\text{isolatie}} & = A_{\text{gevel}} \\
 \text{Bekledingen} & = & A_{\text{bekleding}} & = A_{\text{gevel}} - A_{\text{spouw}}
 \end{array}$$



* Oppervlak van de ramen wordt verwaarloosd

Afbeelding 19: Schematische weergave gevel met berekening oppervlakken in parametrisch model.

Spouwwanden, buitenblad

Voor *Spouwwanden, buitenblad* zijn 7 opties beschikbaar (bijlage H).

Er zijn opties waarbij de gebruiker de dimensie(s) zelf kan wijzigen terwijl anderen alleen een default waarde hebben. De bijbehorende parameters met waarden voor de dimensies en parameter staan in Tabel 13:

Tabel 13: Gevels -> Gevels, dicht -> Spouwwanden, buitenblad: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ²]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]	Toelichting
Spouwwanden, buitenblad	$h_{\text{spouw}} * \text{omtrek}$	-	geen	Geen variatie op default dimensie 1.
Hoogte spouw [m]	2			

Spouwwanden, binnenblad, massief

Voor *Spouwwanden, binnenblad, massief* zijn 17 opties beschikbaar (bijlage H).

Er zijn opties waarbij de gebruiker de dimensie(s) zelf kan wijzigen terwijl anderen alleen een default waarde hebben. De bijbehorende parameters met waarden voor de dimensies en parameter staan in Tabel 14.

Tabel 14: Gevels -> Gevels, dicht -> Spouwwanden, binnenblad, massief: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ²]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]	Toelichting
Spouwwanden, binnenblad	$h_{\text{spouw}} * \text{omtrek}$	-	geen	Geen variatie op default dimensie 1.
Hoogte spouw [m]	2			

Isolatielagen

Voor *Isolatielagen* zijn 59 opties beschikbaar (bijlage H). Sommige materialen schalen in mm en andere in R_c waarde terwijl anderen geen schaling toestaan. Dit kan leiden tot onvergelykbare alternatieven. De wettelijke isolatie eis voor de gevel is $4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Er zijn opties waarbij de gebruiker de dimensie(s) zelf kan wijzigen terwijl anderen alleen een default waarde hebben. De bijbehorende parameters met waarden voor de dimensies en parameter staan in Tabel 15.

Tabel 15: Gevels -> Gevels, dicht -> Isolatielagen: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ²]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]	Toelichting
Isolatielagen	$H * \text{omtrek}$	$4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$	geen	Wettelijke isolatie eis voor de gevel

Bekledingen

Voor *Bekledingen* zijn 59 producten beschikbaar (bijlage H). Er zijn producten die schalen in mm, er zijn producten die schalen in R_c waarde en er zijn producten die geen schaling toestaan. Sommige bekledingen bevatten ook isolatie terwijl anderen slechts als bekleding functioneren. Dit kan leiden tot onvergelykbare materiaalkeuzes en dubbeltelling met de isolatielagen. De wettelijke isolatie-eis voor de gevel is $4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$. De bijbehorende parameters met waarden voor de dimensies staan in Tabel 16.

Tabel 16: Gevels -> Gevels, dicht -> Bekleding: aantal+dimensies+parameters.

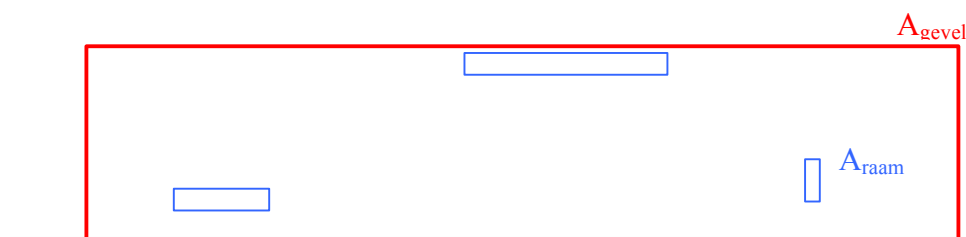
Product	Aantal [m^2]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]	Toelichting
Bekleding	H * omtrek	4,5 $\text{m}^2\text{K/W}$	geen	Wettelijke isolatie eis voor de gevel. Producten die schalen op R_c waarde worden op een R_c van $4,5 \text{ m}^2\text{K/W}$ geschaald. Producten zonder dimensie 1 of in mm worden niet geschaald.

Gevels, open

Bijlage I laat de producten (blauwe vinkjes) zien onder de subonderdelen *Ramen*, *Beglazing*, en *Bekledingen* die worden meegenomen bij het onderdeel *Gevels, Open*.

Het aantal is het deel van het oppervlak van de gevel voor elk subonderdeel. De oppervlakken van de elementen van de gevel hangen met elkaar samen en zijn opgeteld gelijk aan het totale oppervlak van de gevel. Zie Afbeelding 1720 en de formules:

$$\begin{aligned} \text{Ramen} &= A_{\text{ramen}} = A_{\text{gevel}} \times \%_{\text{glas}} \\ \text{Beglazing} &= A_{\text{beglazing}} = A_{\text{ramen}} \end{aligned}$$



Afbeelding 20: Schematische weergave gevel met relaties oppervlakken weergegeven (gevel, open).

Ramen

Voor *Ramen* zijn 11 opties beschikbaar (bijlage I). Het raamoppervlak is het percentage glas in de gevel maal het geveloppervlak. De bijbehorende parameters met waarden voor de dimensies staan in Tabel 17. Ramen heeft geen dimensies die gewijzigd kunnen worden.

Tabel 17: Gevels -> Gevels, open -> Ramen: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m^2]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]	Toelichting
Ramen	$\%_{\text{glas}} \times \text{geveloppervlak}$	Geen	geen	Dimensies ramen zijn aanpasbaar.
$\%_{\text{glas}}$	5%			

Beglazing

Voor *Beglazing* zijn 26 opties beschikbaar (bijlage I). Het glasoppervlak is het percentage glas in de gevel maal het geveloppervlak. De bijbehorende parameters met waarden voor de dimensies staan in Tabel 18: Gevels -> Gevels, open -> Beglazing: aantal+dimensies+parameters.

Tabel 18: Gevels -> Gevels, open -> Beglazing: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ²]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]	Toelichting
Beglazing	%glas *geveloppervlak	geen	geen	Dimensies gekozen beglazing niet aanpasbaar.
%glas	5%			

5.2.5 Daken

Bijlage J laat de elementen (blauwe vinkjes) zien onder de subonderdelen *Daken*, *Isolatielagen* en *Bedekkingen*. Omdat de huidige tool producten bevat die gericht zijn op kantoren en woningen is het niet goed mogelijk om het bouwkundig ontwerp voor het dak van een hal nauwkeurig in te voeren. Het aantal is het dakoppervlak wat gelijk is aan het BVO.

Daken, plat

Daken

Voor *Daken* zijn 25 producten beschikbaar (bijlage XX). Om het model te versimpelen worden een aantal productkeuzes die specifiek voor kantoren en woningen zijn bedoeld (breedplaat, leidingvloer etc.) niet meegenomen. Er zijn producten waarbij de gebruiker de dimensie(s) zelf kan wijzigen terwijl anderen alleen een default waarde hebben. De bijbehorende parameters met waarden voor de dimensies staan in Tabel 19.

Tabel 19: Daken -> Daken, plat -> Daken: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ²]	Dim1 [mm]	Dim2	Toelichting
Daken, plat	BVO	default	geen	Sommige producten hebben een dimensie 1 die schaalbaar is. Anderen niet. Het parametrisch model schaalt de producten niet.

Isolatielagen

Voor *Isolatielagen* zijn 45 producten beschikbaar (bijlage J). Om het model te versimpelen worden productkeuzes specifiek voor kantoren en woningen (o.a. cellulair glas bijv.) niet meegenomen. Er zijn producten die schalen in mm, er zijn producten die schalen in R_c waarde en er zijn producten die geen schaling toestaan. Dit kan leiden tot onvergelykbare productkeuzes. De wettelijke isolatie eis voor het dak is 6 m²K/W. De bijbehorende parameters met waarden voor de dimensies staan in Tabel 20.

Tabel 20: Daken -> Daken, plat -> Isolatielagen: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ²]	Dim1 [R _c]	Dim2	Toelichting
Isolatielagen	BVO	6 m ² K/W	geen	Wettelijke isolatie eis voor het dak. Producten die schalen op R _c waarde worden op een R _c van 6 m ² K/W geschaald. Producten zonder dimensie 1 of in mm worden niet geschaald.

Bedekkingen

Voor *Bedekkingen* zijn 26 producten beschikbaar (bijlage J). Om het model te versimpelen worden een aantal productkeuzes specifiek voor kantoren en woningen (koper, glas bijv.) niet meegenomen.

Er zijn producten waarbij de gebruiker de dimensie(s) zelf kan wijzigen terwijl anderen alleen een default waarde hebben. De bijbehorende parameters met waarden voor de dimensies staan in Tabel 21.

Tabel 21: Daken -> Daken, plat -> Bedekkingen: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ²]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]	Toelichting
Bedekkingen	BVO	default	Geen	Bedekkingen worden niet geschaald.

Dakopeningen

Voor *Lichtstraten* zijn een beperkt aantal (4) producten en het enige product dat goed toepasbaar is voor hallen is de lichtstraat polycarbonaat (

Afbeelding 21).



Resultaten

Algemeen

Fundering

Vloeren

Draagconstructie

Gevels

Daken

Daken, plat

Daken, hellend

Dakopeningen

Invoer per element

Dakramen

Lichtkoepels

Lichtstraten

Product ( Ongetoetst  Getoetst)	Aantal	Dimensie 1	Dimensie 2
☒  Lichtstraat glas (utiliteitsbouw)	 10000   m2		
☒  Lichtstraat polycarbonaat (utili...	 10000   m2		
☒  VELUX Modulaire Lichtstraat VMS ...	 10000   m2		
☒  VELUX Modulaire Lichtstraat VMS ...	 10000   m2		

Afbeelding 21: Opties voor lichtstraten in de MRPI-MPG webtool (gebruikt voor kantoren en woningen).

Er zijn geen schaalbare dimensies maar er worden een aantal glaspercentages meegenomen (Tabel 22).

Tabel 22: Daken -> Daken, plat -> Lichtstraten: aantal+dimensies+parameters.

Product	Aantal [m ²]	Dim1 [mm]	Dim2 [mm]	Toelichting
Lichtstraten	BVO*%glas	geen	geen	
%glas dak	0 – 6 – 12			

5.2.6 Installaties

Bijlage K laat de producten (blauwe vinkjes) zien onder de subonderdelen *Warmtelevering*, *Elektrische installatie* en *Luchtbehandeling*. Over het algemeen zijn de installaties voor een hal beperkt omdat er weinig eisen aan het binnenklimaat gesteld worden en beperkt de installatie zich veelal tot “wat verwarming” en verlichting⁵. Omdat de huidige webtool producten bevat die gericht zijn op kantoren en woningen is het niet goed mogelijk om de installaties van een hal nauwkeurig in te voeren.

Het aantal is het aantal m2gbo wat bij een hal gelijk is aan het BVO. Installaties hebben geen dimensies die schaalbaar zijn. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van een aantal keuzes voor *Warmteopwekkingsinstallaties U-bouw* (Afbeelding 22).

Invoer per element

Warmteopwekkingsinstallaties W-bouw

Warmteopwekkingsinstallaties U-bouw

Product (☐ Ongeloopt ☒ Geloopt)	Aantal	Dimensie 1	Dimensie 2
☒ ☐ Hr-ketel; 65 w/m2		m2gbo	
☒ ☐ Warmtekrachtkoppeling (WKK)		m2gbo	
☒ ☐ Warmtelevering derden, afleverse...		m2gbo	
☒ ☐ Warmtepomp Brine-water, 65 w/m2		m2gbo	

Afbeelding 22: Detail: opties voor warmteopwekkingsinstallaties U-bouw met dimensies.

Afbeelding 22 laat zien dat de HR-ketel een vermogen heeft van 65 W/m². Als er in werkelijkheid een hoger of lager vermogen wordt toegepast dan is dat correct in te voeren.

Warmtelevering

Warmtelevering is opgedeeld in 8 onderdelen waarvan *warmteopwekking*, *warmtedistributie* en *warmteafgifte* worden meegenomen in het model (bijlage K).

Warmteopwekking

⁵ interview ing. Alex Ranzijn, installatiebedrijf Ranzijn, Alkmaar

Voor *warmteopwekking* zijn 4 opties beschikbaar die allen worden meegenomen behalve de warmtelevering derden. Er zijn geen schaalbare dimensies.

Warmtedistributie

Voor *warmtedistributie* zijn 2 opties beschikbaar waarbij alleen degene inclusief koppelingen wordt meegenomen (bijlage K). Er zijn geen schaalbare dimensies.

Warmteafgifte

Voor *warmteafgifte* zijn 7 opties beschikbaar waarvan er drie worden meegenomen (bijlage K). Er zijn geen schaalbare dimensies.

Elektrische installatie

Elektrische Installatie is opgedeeld in 6 onderdelen waarvan *Aarding*, *Verlichting* en *Elektriciteitsleidingen* worden meegenomen in het model (bijlage K). Ook de elektrische installatie is bij een hal over het algemeen simpel.

Aarding

Voor *Aarding* wordt gekozen voor de optie “aarding kantoorgebouw”. Er zijn geen schaalbare dimensies.

Verlichting

Voor *Verlichting* zijn 3 opties beschikbaar waarbij de optie voor LED verlichting en een optie voor TL-5 verlichting wordt meegenomen. Er zijn geen schaalbare dimensies.

Elektriciteitsleidingen

Voor *Elektriciteitsleidingen* zijn 5 opties beschikbaar waarbij installatiedraad en twee opties voor koperen leidingen (voor U-bouw) worden meegenomen. Er zijn geen schaalbare dimensies.

Luchtbehandeling

Luchtbehandeling is opgedeeld in *Luchtbehandelingssystemen* en *Luchtdistributiesystemen*. Luchtbehandeling wordt bij hallen zelden toegepast omdat er weinig eisen aan luchtkwaliteit en klimatisering worden gesteld⁶.

Luchtdistributiesystemen

Voor *Luchtdistributiesystemen* zijn 30 producten beschikbaar die veelal worden toegepast in woningen en kantoren. De distributiesystemen specifiek voor kantoren worden meegenomen inclusief afvoerroosters en ventilatiekanalen. Verder wordt luchtverwarming uit de producten meegenomen omdat dit vaak wordt toegepast in hallen. Er zijn geen schaalbare dimensies.

5.2.7 Inbouw

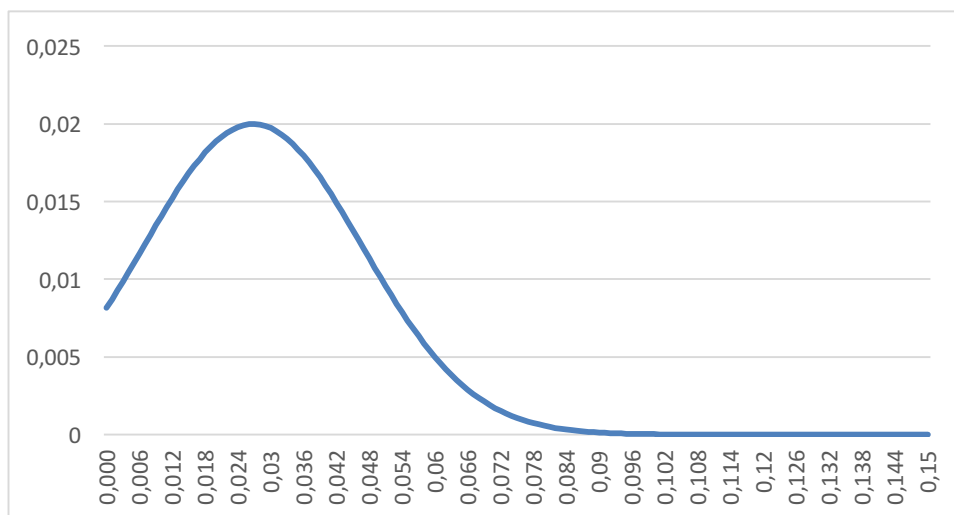
Een hal is een gebouw met grote overspanningen en in principe geheel leeg. Afhankelijk van de grootte van de hal kunnen echter brandwerendheidseisen leiden tot het toevoegen van brandwanden. De brandwand wordt los bekeken in paragraaf 7.2 en gesuperponeerd op de resultaten van de overige gebouwonderdelen.

⁶ interview ing. Alex Ranzijn, Ranzijn Installaties Alkmaar

6 Resultaten MPG score

6.1 Principe

De MPG resultaten worden bepaald door de gebouwgeometrie, palenraster, materiaalhoeveelheden, materiaalkeuzes en de dimensies van de materialen. Verder heeft de levensduur invloed. Deze wordt forfaitair op 50 jaar gehouden wat gelijk is aan de huidige levensduur voor kantoren. De verdeling van de MPG scores is voor de gebouwonderdelen is over het algemeen een zogenoemde scheve normaalverdeling met een staart naar rechts. Als voorbeeld geeft Afbeelding 23 de verdeling van de MPG scores voor het subonderdeel funderingsbalk weergegeven.



Afbeelding 23: De verdeling van de MPG resultaten is scheef (Scheefheid = $1,8 > 1$) met staart naar rechts.

De percentielwaarden geven de positie in de verdeling waarbij x procent van de opties beter scoort en x procent slechter. Er worden 4 percentielwaarden berekend:

- p10: Dit is de MPG-score, waarbij 10% van de opties beter scoort en 90% slechter. Deze waarde geeft een indruk van wat hoe een zeer duurzaam ontwerp scoort.
- p50 (=mediaan): Dit is de MPG-score, waarbij 50% van de opties beter scoort en 50% slechter. Een voordeel van het werken met de mediaan ten opzichte van het gemiddelde is dat deze veel minder gevoelig is voor de enkele extreem hoge of lage waarden (de 'uitbijters').
- p75: Dit is de MPG-score, waarbij 75% van de opties beter scoort en 25% slechter. Deze waarde geeft een indruk van ontwerpen, die nog wel gebouwd zouden kunnen worden als de grenswaarde in een eerste stap aangescherpt zou worden.
- p90: Dit is de MPG-score, waarbij 90% van de gebouwvarianten beter scoort en 10% slechter. Deze waarde geeft een indruk van de scores van ongunstige halontwerpen.

Door het grote aantal combinaties ($> 1 \times 10^{20}$) is het niet mogelijk om de percentielen van de MPG score voor het complete gebouw in één keer te bepalen. Daarnaast is het van belang om weten welke gebouwonderdelen bepalend zijn voor de MPG score. De resultaten worden per gebouwonderdeel gepresenteerd op twee manieren.

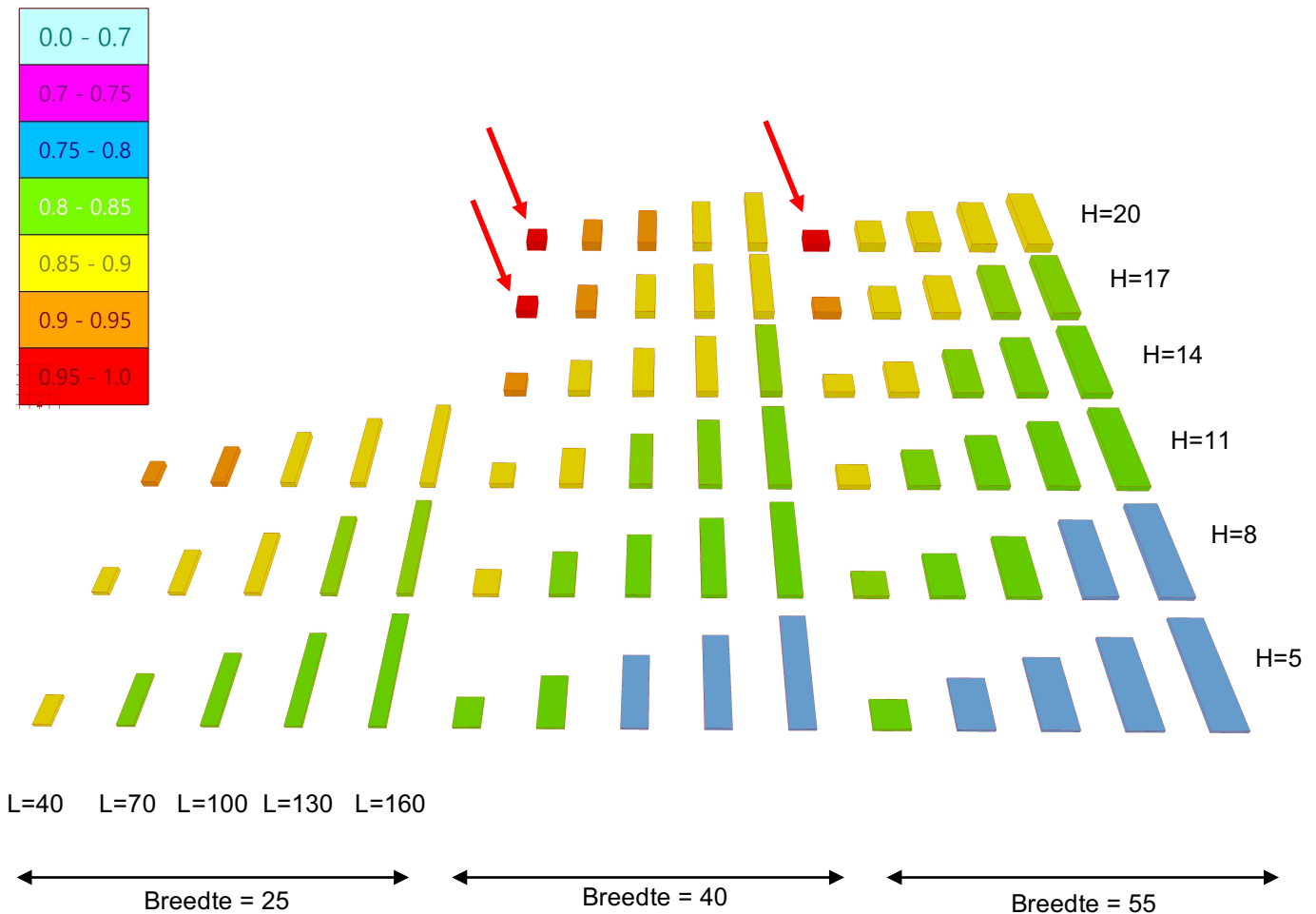
1. Per hal: elke hal heeft verschillende opties voor de gebouwonderdelen fundering, vloeren etc. Per hal wordt de totale MPG score gepresenteerd.
2. Over het totaal: in totaal worden 165 hallen doorgerekend op de MPG score. Elke hal heeft een fundering, vloer etc. De percentielen worden bepaald voor alle opties voor alle funderingen etc. van alle hallen samen en het percentiel van de totale MPG score van alle 165 hallen.

6.2 Resultaten

Per hal

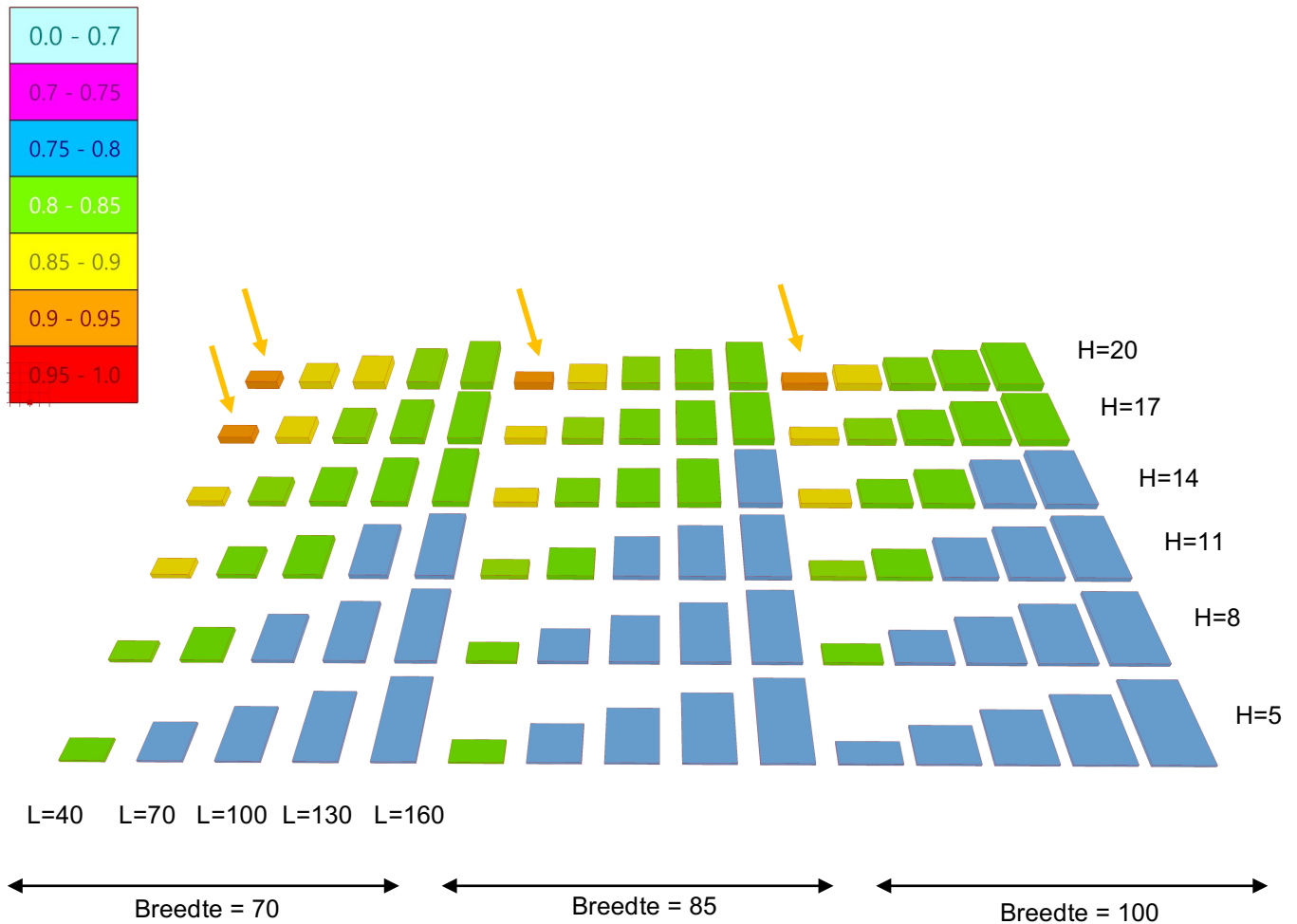
Totaal zijn 180 hallen berekend waarbij hallen met een hoogte die groter is dan de helft van de breedte zijn weggelaten waardoor 165 hallen overblijven. Voor elke hal is het 90^e percentiel berekend voor de totale MPG score. Daarbij betekent het 90^e percentiel dat 90% van alle MPG scores onder deze waarde zullen vallen.

Afbeelding 24 en Afbeelding 25 laat de totale MPG score per hal zien afhankelijk van de afmeting.



	Waarde					
Breedte [m]	25	40	55	--	--	--
Lengte [m]	40	70	100	130	160	-
Hoogte [m]	5	8	11	14	17	20

Afbeelding 24: Totale MPG score per hal voor 165 verschillende afmetingen (deel 1).



	Waarde					
Breedte [m]	--	--	--	70	85	100
Lengte [m]	40	70	100	130	160	-
Hoogte [m]	5	8	11	14	17	20

Afbeelding 25: Totale MPG score per hal voor 165 verschillende afmetingen (deel 2).

Uit Afbeelding 24 en Afbeelding 25 volgt:

- er zijn geen hallen waar het P90 percentiel onder de €0,7/(m² BVO jaar) ligt;
- voor de kleinere hallen (deel 1) zijn er drie hallen met een P90 percentiel tussen 0,95 - 1,0€/ (m²BVO·jaar) . Dit is een relatief hoge hal met afmetingen: 40x40x20;
- voor de grotere hallen (deel 2) zijn er vier hallen met een P90 percentiel tussen 0,90- 0,95€/ (m²BVO·jaar) . Dit is een relatief hoge hal met afmetingen: 70x40x20;
- naarmate de hallen groter worden wordt het P90 percentiel lager en kunnen grotere hallen makkelijker aan een grenswaarde voldoen;
- hoe hoger de hal hoe hoger het P90 percentiel;

Over het totaal

Behalve het P90 percentiel per hal wordt ook het P90 percentiel over alle 165 hallen bepaald. Daarbij wordt allereerst voor alle funderingen het P90 percentiel bepaald en vervolgens het P90 percentiel voor de vloeren tot en met de installaties. Het totaal aantal opties is beduidend groter dan de opties per hal. Zie Tabel 23 met het aantal opties per subonderdeel van de gebouwonderdelen.

Tabel 23: Subonderdelen met aantal opties voor bepaling percentielen MPG scores.

Subonderdelen	Opties	Gebouwonderdelen
funderingsbalk	1980	Fundering
paal onder funderingsbalk	2640	
paal onder vloer	7920	
Vloer	1320	Vloer
isolatie vloer	495	
draagconstructie	5610	Draagconstructie
spouw (buiten)	5280	Gevel
isolatie gevel	1320	
Bekleding	25080	
Ramen	165	
Beglazing	165	
Daken	825	Daken
isolatie dak	1155	
Bedekking	330	
Dakopeningen	495	
warmtelevering	1485	Installaties
elektrische installatie	990	
luchtdistributie	1155	

De resulterende percentielen van MPG scores per gebouwonderdeel staat in Tabel 24.

Tabel 24: MPG score [$\text{€}/(\text{m}^2\text{BVO}\cdot\text{jaar})$]] per gebouwonderdeel: percentielen P10-P90.

	P10	P25	P50	P75	P90
Fundering	0,01	0,01	0,08	0,20	0,31
Vloeren	0,00	0,01	0,04	0,08	0,09
draagconstructie	0,04	0,04	0,06	0,09	0,09
Gevels	0,02	0,03	0,06	0,09	0,13
Daken	0,06	0,08	0,12	0,15	0,16
Installaties	0,07	0,07	0,09	0,11	0,12
totaal	0,20	0,25	0,44	0,72	0,91

De percentielscores zijn een optelling van de percentielscore per gebouwonderdeel. Dit leidt tot een ongunstiger waarde dan alle opties in één model genereren en in één model bepalen. Met deze opmerking in het achterhoofd kan uit de tabel kan het volgende geconcludeerd worden.

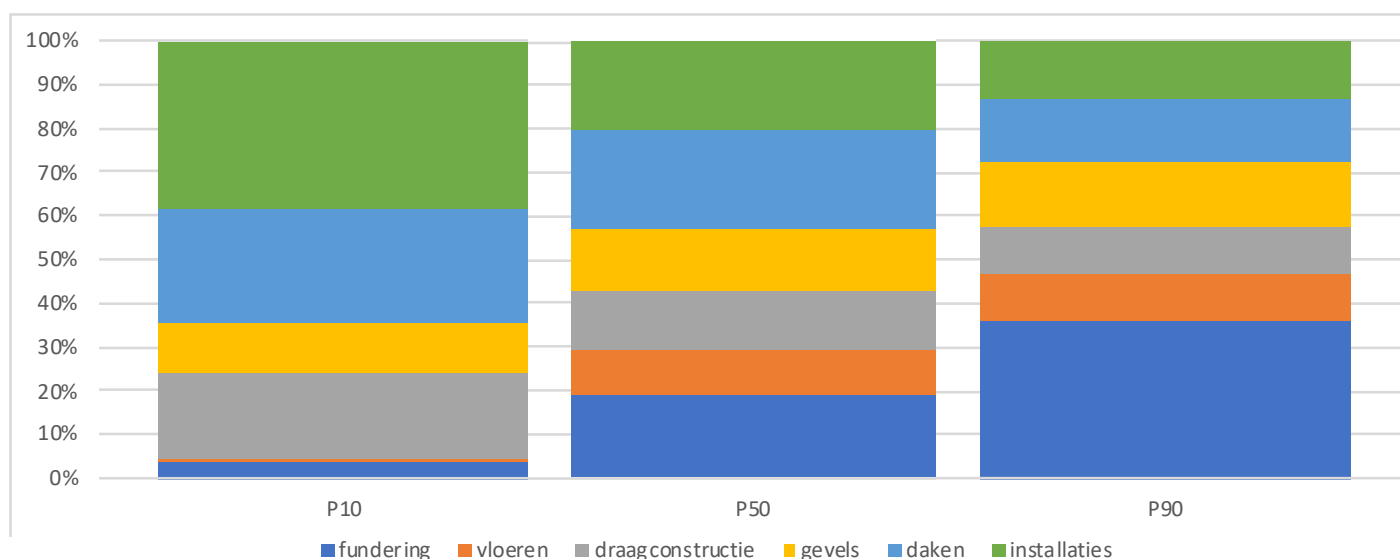
- p10: 10% van de ontwerpen haalt een MPG score van 0,20€/m²BVO·jaar). Deze waarde geeft een indruk van hoe een duurzaam ontwerp kan scoren.

- p50: 50% van de ontwerpen haalt een lagere MPG score dan 0,44€/m²BVO·jaar).

- p75: 75% van alle ontwerpen haalt een MPG score lager dan 0,72€/m²BVO·jaar). Dit geeft een beeld van de mogelijkheden van het eventueel aanscherpen van de grenswaarde in de toekomst.

- p90: 90% van alle ontwerpen haalt een MPG score lager dan 0,91€/m²BVO·jaar). Deze waarde is een hoge afchatting van het 90% percentiel door de optelling van afzonderlijke percentielen.

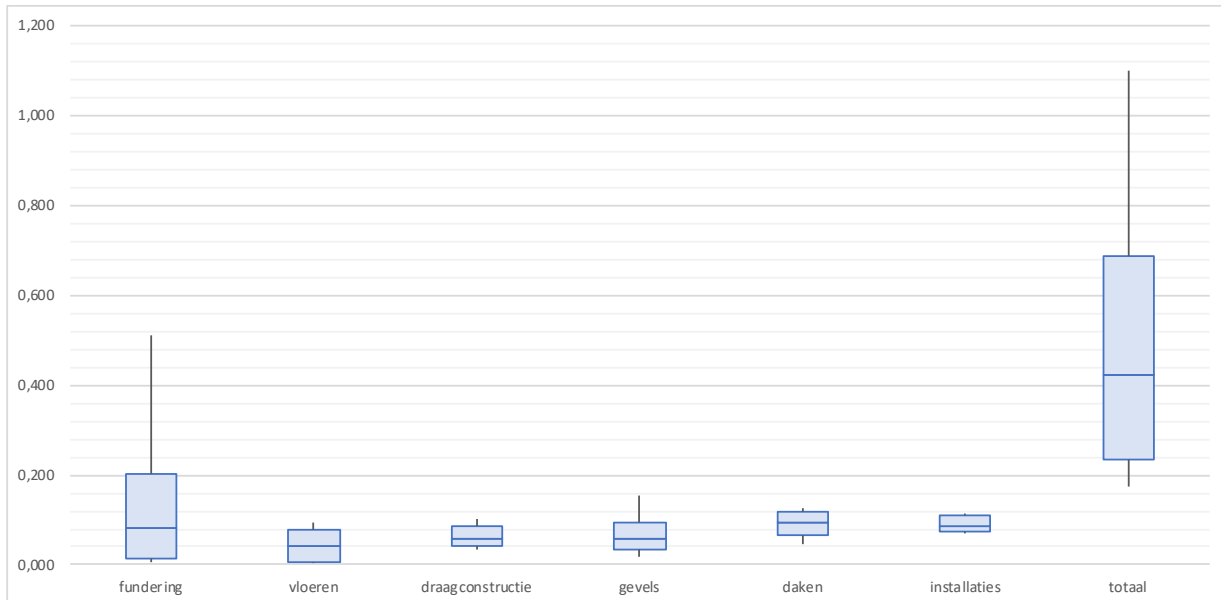
Afbeelding 26 laat de relatieve samenstelling zien (procentueel) van de totale MPG score voor verschillende percentielen van laag (P10) tot hoog (P90).



Afbeelding 26: Opbouw percentielen P10-P50-P90 uit gebouwonderdelen.

De percentages laten zien dat lage MPG scores (10^e percentiel) gehaald worden met een zeer lichte fundering met (alleen palen onder de funderingsbalk) en zonder vloer die samen verantwoordelijk zijn voor minder dan 5% van de totale MPG score. Bij hoge MPG scores (P90) heeft de combinatie vloer/fundering een behoorlijk aandeel (ongeveer 35%) in de totale MPG score.

Afbeelding 27 laat de spreiding van de MPG scores zien voor de zes gebouwonderdelen en voor de totale MPG score. Elke container wordt boven begrensd door het 75^e percentiel en onder door het 25^e percentiel. De horizontale lijn in de container is het 50^e percentiel (de mediaan). Dit is de waarde waar 50% van de MPG scores onder valt. De verticale lijnen laten de uitschieters naar boven en naar onderen zien. In een ideale normaalverdeling ligt de mediaan precies in het midden van de container en zijn de verticale lijnen even lang.



Afbeelding 27: Verdeling van de percentielen per gebouwonderdeel.

Afbeelding 27 laat zien dat vooral de fundering asymmetrische uitschieters naar boven heeft en absoluut gezien hoge percentielwaarden. Zo is de mediaan van de daken ongeveer gelijk aan die van de fundering maar de MPG scores liggen dicht om deze mediaan heen.

De MPG scores voor de gevel vertonen ook uitschieters omhoog maar in minder sterke mate. De andere gebouwonderdelen (vloeren, draagconstructie, daken, installaties) hebben een relatief geringe spreiding in de MPG scores. In de totaal score (geheel rechts) werkt de spreiding van vooral de fundering door.

7 Gevoeligheidsanalyse

7.1 Eisen isolatie anno 2015

Het is mogelijk om een industriehal te bouwen zonder isolatie als de industriehal niet verwarmd wordt of met een seizoensgebonden gebruik⁷. Dan wordt de MPG score voor de isolatie 0 €/m²BVO·jaar). Als de industrie hal wel verwarmd wordt zijn er eisen aan de isolatie van de gebouwschil. Tot 2015 had een industriehal geringe eisen op het gebied van isolatie. Op dit moment zijn de minimale R_c waarden voor dak, gevel en vloer respectievelijk:

- Dak = 6 m²K/W
- Gevel = 4,5 m²K/W
- Vloer = 3,5 m²K/W

Allereerst wordt de impact van de huidige isolatie-eisen conform het Bouwbesluit 2015 bekeken op de MPG scores van de gevel en de totale MPG score. Het gaat dan om de 90^e percentielscores. Dit is de waarde waarbij 90% van de opties lager uit zal vallen. De totale MPG score en de individuele score op isolatie binnen het gebouwonderdeel staan in Tabel 25.

Tabel 25: MPG score [€/m²BVO·jaar] op de gebouwonderdelen met isolatie (eis 2015) en aandeel isolatie daarin.

	Totaal gebouwonderdeel	isolatie	%
Vloeren (3,5)	0,092	0,002	2,5%
Gevels (4,5)	0,13	0,018	14%
Daken (6)	0,16	0,079	49%
Totaal V+G+D	0,38	0,099	26%
Totaal MPG score gebouw	0,91	0,099	11%

De vloer wordt niet geheel geïsoleerd maar slechts een strook rondom van 3 m. Daardoor is de impact van isolatie op de score van de vloer relatief beperkt (2,5%). Isolatie is verantwoordelijk voor 26% van de MPG score van de gebouwschil. Op de totale MPG score (0,91) is het aandeel van de wettelijke isolatie eisen (anno 2015) ongeveer 11%. In 1992 was de isolatie eis 2,5 m²K/W en in 2012 is deze verhoogd naar 3,5 m²K/W. Tabel 26: Vergelijking MPG score isolatie [€/m²BVO·jaar] isolatie eis 2012 en isolatie eis 2015. laat het verschil zien tussen de MPG score van isolatie volgens de huidige eisen en isolatie op basis van het Bouwbesluit 2012.

Tabel 26: Vergelijking MPG score isolatie [€/m²BVO·jaar] isolatie eis 2012 en isolatie eis 2015.

	Isolatie 2012	Isolatie 2015	Vershil
Vloeren (3,5->3,5)	0,0023	0,0023	0% t.o.v. 2012
Gevels (3,5->4,5)	0,017	0,018	+6% t.o.v. 2012
Daken (3,5->6)	0,046	0,079	+72% t.o.v. 2012
Totaal V+G+D	0,065	0,099	+52% t.o.v. 2012

De toename van de MPG score op het subonderdeel isolatie van vloeren, gevels en daken is relatief groot (+52% over het totaal). Absoluut gezien heeft isolatie nog steeds een beperkt aandeel op de totale MPG score voor een hal (11%, Tabel 25). Bij isolatie zijn een aantal opmerkingen te maken wat betreft de invoer. Het is niet mogelijk om voor alle isolatieproducten de isolatiewaarde aan te passen en soms is niet duidelijk wat nu de (default) R_c waarde van het product is. Daarnaast zijn er isolatie-materialen waarbij de isolatie in dikte in mm moet worden opgegeven in plaats van R_c waarde wat kan leiden tot niet vergelijkbare situaties.

7.2 Eisen brandveiligheid

Bijlage L laat de elementen (blauwe vinkjes) zien onder het subonderdeel *Inbouw*. Het onderzoek kijkt specifiek naar een industriehal. Dit is een eenlaags gebouw met grote overspanningen zonder trappen en liften. Verder zijn vaste voorzieningen niet relevant voor de industrie functie en onafhankelijk van het gebouw. Wel kan er potentieel een brandwand moeten worden geplaatst in de hal. Deze wordt toegevoegd in de categorie *Binnenwanden*.

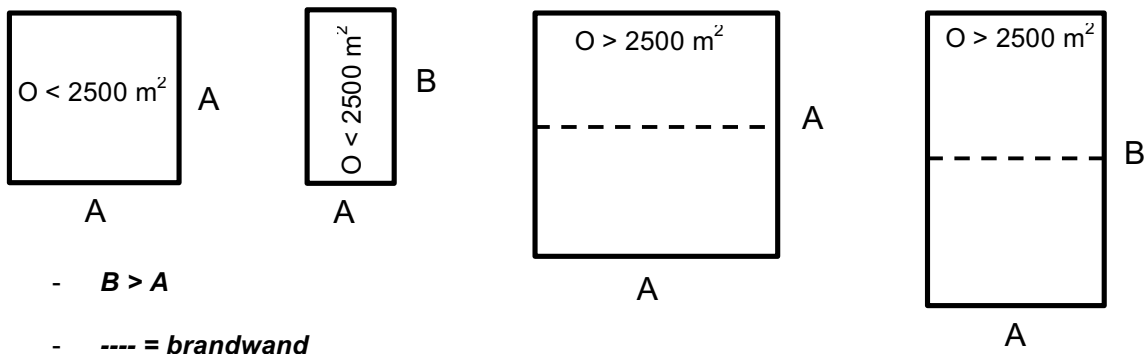
Voor *Binnenwanden*, *Niet dragende wanden*, *massief* zijn 21 opties beschikbaar. Een aantal materiaalkeuzes zijn niet realistisch. Alleen kalkzandsteen, cellenbeton en betonnen materiaalkeuzes worden meegenomen (Afbeelding 28).

Element	Product
Niet dragende wanden, massief	Baksteenmetselwerk
Niet dragende wanden, massief	Baksteenmetselwerk WEBER BEAMIX mortels
Niet dragende wanden, massief	Baksteenmetselwerk; KNB
Niet dragende wanden, massief	BB&S betonnen bouwblokken (100 mm) + metselmortel
Niet dragende wanden, massief	Beton, prefab, utiliteitsbouw; AB-FAB
Niet dragende wanden, massief	Beton, prefab, woningbouw; AB-FAB
Niet dragende wanden, massief	Cellenbeton blokken (Xella-Ytong)
Niet dragende wanden, massief	Cellenbeton verdiepings hoge panelen (Xella-Ytong)
Niet dragende wanden, massief	DRBG; Compensatiesteen (CO2-negatief); incl. lijm
Niet dragende wanden, massief	Gips met vlaskern
Niet dragende wanden, massief	Gipsblokken, hoge dichtheid (NBVG)
Niet dragende wanden, massief	Gipsblokken, normale dichtheid (NBVG)
Niet dragende wanden, massief	Glazen bouwstenen
Niet dragende wanden, massief	Kalkzandsteen elementen
Niet dragende wanden, massief	Kalkzandsteen lijmblokken
Niet dragende wanden, massief	Kalkzandsteen metselwerk
Niet dragende wanden, massief	Keramische binnenmuur-elem., geperforeerd
Niet dragende wanden, massief	Licht Leemsteenmetselwerk
Niet dragende wanden, massief	Lichtbeton, prefab, woningbouw; AB-FAB
Niet dragende wanden, massief	Lichtgewicht keramische binnenmuursteen
Niet dragende wanden, massief	Poreuze baksteen

Afbeelding 28: Materiaalkeuzes voor de brandwand (rood).

De materiaalkeuzes voor de brandwand hebben geen dimensie 2 maar alleen een dimensie 1 (dikte in mm) of een dimensie 1 die niet gewijzigd kan worden.

Het parametrisch model genereert een brandwand op het moment dat het oppervlak van de hal groter wordt dan 2500 m². Het principe is een brandwand precies in het midden over de kortste zijde van de hal (Afbeelding 29). Het oppervlak van de brandwand is dan de hoogte van de hal maal de (kortste) zijde (A).

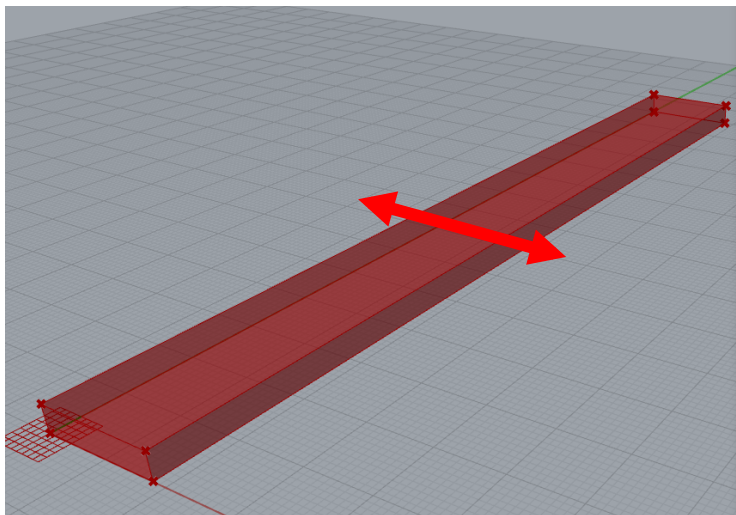


Afbeelding 29: Principe van het genereren van een brandwand in de hal.

De MPG waarde van een brandwand is in principe afhankelijk van:

- De dikte van de brandwand;
 - Een realistische dikte van de brandwand is 100 mm.
- Het materiaal voor de brandwand;
 - Zie de beperking in materiaalkeuzes in Afbeelding 28.
- De hoogte van de brandwand;
- De vorm van het grondoppervlak.

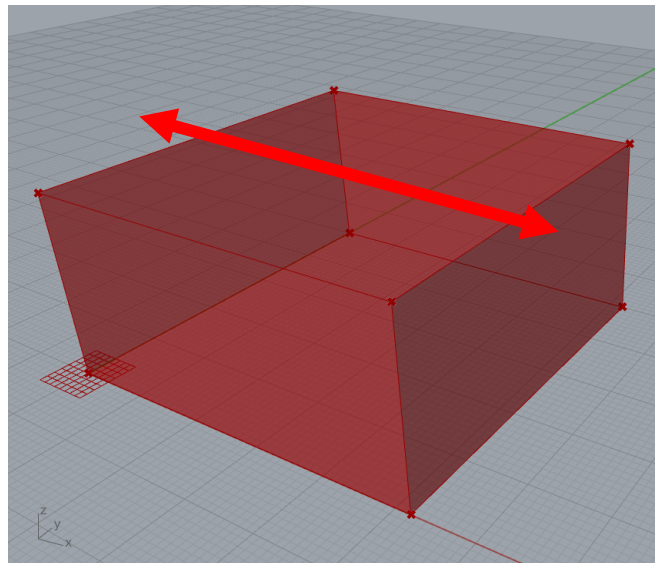
Het algoritme vindt de minimale MPG waarde voor de brandwand bij een relatief lange hal met de kleinste hoogte (5 m), de kleinste breedte (18 m) en de grootste lengte (150 m) waarbij het BVO net boven 2500 m^2 is. De brandwand loopt over de breedte van de hal in het midden (Afbeelding 30).



Afbeelding 30: Afmeting hal met minimale MPG score voor de brandwand (pijl).

De laagste MPG score kan gevonden worden in alle drie de materialen voor de brandwand (beton, kalkzandsteen en cellenbeton) en is $0,0009 \text{ €/}(\text{m}^2 \text{BVO} \cdot \text{jaar})$.

De maximale MPG waarde voor de brandwand wordt gevonden voor de hoogste hal (25 m) met de grootste breedte (50 m) waarbij het oppervlak groter wordt dan 2500 m². De brandwand loopt over de breedte van de hal in het midden (Afbeelding 31).



Afbeelding 31: Afmeting hal met maximale MPG score voor de brandwand (pijl).

De hoogste MPG score wordt gevonden met een betonkeuze en is 0,038 €/m²BVO·jaar).

7.3 Kraanbaan

Een kraanbaan vraagt in principe meer materiaal in de constructie. In paragraaf 4.3 zijn een aantal verschillende draagconstructies voor hallen berekend. Daarbij is het aantal kg staal per vierkante meter bepaald. Tabel 27 geeft een overzicht waarbij de hal met een kraanbaan in rood is aangegeven (rood).

Tabel 27: MPG waarde draagconstructies met en zonder kraanbaan.

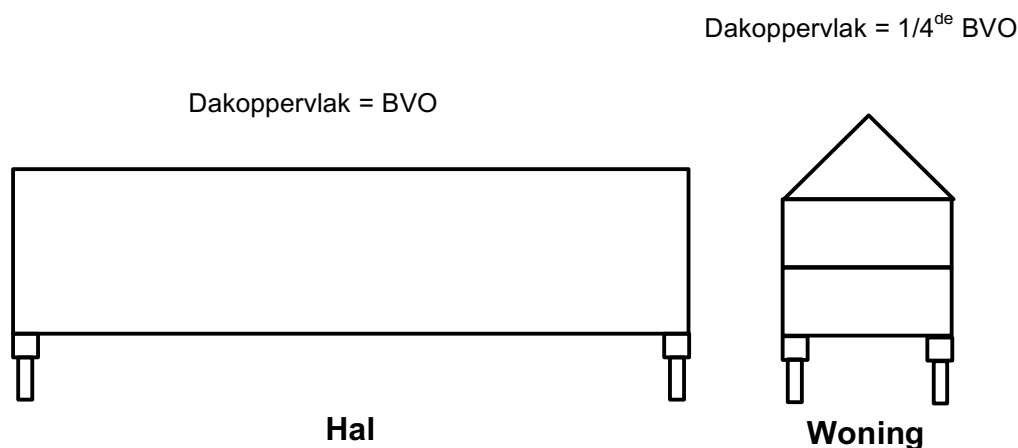
Oppervlak [m ²]	Gewicht constructie [kg/m ²]	MPG [€/m ² BVOjaar]
1000	37	0,026
1400	32	0,023
1800	31	0,022
> 10000	25	0,018
16000	46	0,032
45000	28	0,020

Het overzicht laat zien dat het gewicht voor een hal met kraanbaan niet per definitie veel hoger is dan zonder. Er zijn hallen met wellicht een minder optimale constructie of grotere overspanningen die duidelijk een hogere MPG score hebben. Meer in detail blijkt dat ongeveer 25% van het materiaalgebruik (staal) in de hal met kraanbaan gaat naar de kraanbaanligger. Tegelijkertijd blijkt uit de percentielscores van de constructie dat de impact van de constructie relatief laag is.

7.4 PV panelen

Ervaring in de woningbouw leert dat energieneutrale woningen (BENG) met zonnepanelen een laag energieverbruik hebben maar een hoge MPG waarde⁸ en dat dit ongunstig uitpakt op de totale MPG-score. Hetzelfde geldt zeer waarschijnlijk ook voor hallen met PV op het dak.

Daarbij heeft de hal als nadeel dat over het algemeen het BVO gelijk is aan het dakoppervlak wat betekent dat de MPG score van de PV panelen 1 op 1 doorwerkt (Afbeelding 32).



Afbeelding 32: Dakoppervlak en BVO hal vergeleken met dakoppervlak en BVO woning.

Bij een duurzame hal die klaar is voor de toekomst moet het mogelijk zijn het gehele dak vol te leggen met PV panelen. Afbeelding 33 laat de MPG score zien voor een hal van 10000 m² met een dak dat volledig vol wordt gelegd met PV panelen.

Elektriciteitsopwekkingsystemen	PV,amorf(dunne film); hellend dak; incl. inverter+kabels	10000 m2	0.8 7.5%
Elektriciteitsopwekkingsystemen	PV,amorf(dunne film); plat dak; incl. inverter+steun+kabels	10000 m2	0.88 8.3%
Elektriciteitsopwekkingsystemen	PV,CIS; hellend dak; incl. inverter+kabels	10000 m2	1.21 11.4%
Elektriciteitsopwekkingsystemen	PV,CIS; plat dak; incl. inverter+steun+kabels	10000 m2	1.29 12.1%
Elektriciteitsopwekkingsystemen	PV,mono-Si; hellend dak; incl. inverter+kabels	10000 m2	2.19 20.6%
Elektriciteitsopwekkingsystemen	PV,mono-Si; plat dak; incl. inverter+steun+kabels	10000 m2	2.27 21.4%
Elektriciteitsopwekkingsystemen	PV,multi-Si; hellend dak; incl. inverter+kabels	10000 m2	1.79 16.8%

Afbeelding 33: MPG score PV panelen op volledig volgelegd dak.

De laagste MPG score is 0,8 €/(m²BVO·jaar) waardoor 1 op 1 doorbelasten geen stimulans is voor PV panelen. Bij gebouwfuncties met een EPC/BENG eis (woningen en kantoren) worden de gebouwinstallaties meegenomen die bijdragen aan het behalen van die score. Dus als er veel PV nodig is om een EPC van 0,2 te halen moeten ze allemaal meegenomen worden⁹. Voor een industriehal geldt nog steeds geen EPC of BENG eis.

Een oplossing is dan om alleen het deel van de PV panelen door te belasten dat gelijk is aan het elektriciteitsverbruik van de hal.

Bij hallen is er een groot verschil in energieverbruik van de hal afhankelijk van het specifieke bedrijfsproces. Dit is de zogenoemde procesenergie. ECN heeft onderzoek¹⁰ gedaan naar elektriciteitsintensiteiten (= elektriciteitsverbruik) van diverse gebouwtypen uit de rubriek bedrijfshal (Tabel 28).

Tabel 28: Elektriciteitsintensiteiten verschillende gebouwtypen uit de rubriek hallen.

Rubriek	Gebouwtipe	Elektriciteitsintensiteit [kWu/m ² jaar]
Bedrijfshal	Datacentre	2003
Bedrijfshal	Garage/autoshowroom	50
Bedrijfshal	Autoschadeherstelbedrijf	54
Bedrijfshal	Groothandel met koeling	131
Bedrijfshal	Groothandel zonder koeling	42

Verder is nog meer in detail gekeken naar elektriciteitsintensiteiten van diverse (industriële) branches (Tabel 29).

Tabel 29: Elektriciteitsintensiteiten verschillende branches.

Omschrijving	Elektriciteitsintensiteit [kWu/m ² jaar]
Vervaardiging van voedingsmiddelen	1601
Vervaardiging van dranken	1057
Vervaardiging van producten van rubber en kunststof	3767
Vervaardiging van auto's, aanhangwagens en opleggers	2570
Vervaardiging van metalen in primaire vorm	687
Vervaardiging van producten van metaal	408
Vervaardiging van computers en van elektronische	226
Vervaardiging van overige goederen	114

Tabel 28 en Tabel 29 laten zien dat het elektriciteitsverbruik van het proces veel hoger kan liggen dan het gebouwgebonden elektriciteitsverbruik. Het elektriciteitsintensiteit van de "groothandel zonder koeling" wordt als uitgangspunt genomen voor het gebouwgebonden elektriciteitsgebruik van de hal. Verder werkt een PV paneel gemiddeld 140 kWu/(m²jaar) op¹¹. Daarmee wordt het PV paneel voor 29% doorbelast per vierkante meter belegd dak (Vergelijking 1).

Vergelijking 1: Doorbelasten PV panelen afhankelijk gebouwgebonden elektriciteitsverbruik en opbrengst PV paneel

$$\frac{40}{140} = 29 \%$$

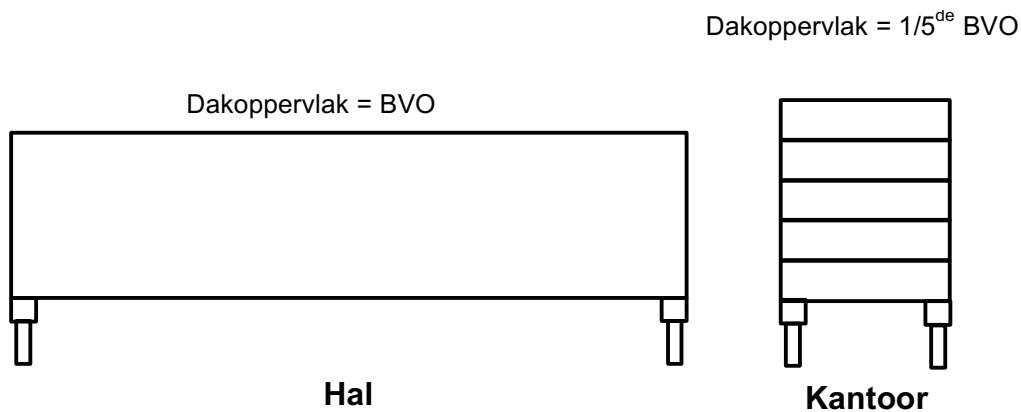
Is het dak volledig bedekt met PV panelen dan zou is de maximale bijdrage aan de MPG score van de PV panelen $0,29 \cdot 0,8 = 0,23 \text{€}/(\text{m}^2 \text{BVO} \cdot \text{jaar})$. De dataset van de BREEAM hallen laat zien dat maximaal 67% van het dakvlak bedekt is en gemiddeld ongeveer 20%. Daarmee wordt de negatieve invloed van PV panelen op de MPG score nog verder beperkt.

8 Voortschrijdende inzichten

8.1 Fundering

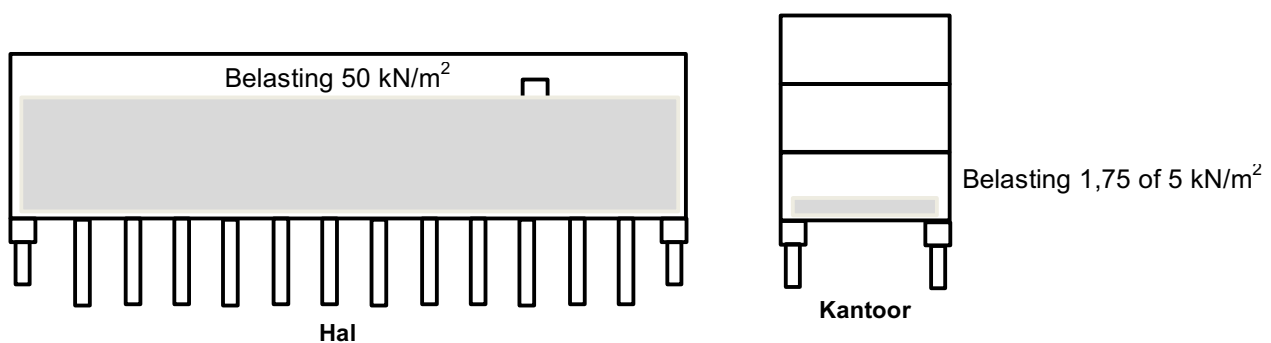
De MPG scores voor de gebouwoonderdelen laten zien dat de fundering een groot aandeel heeft in de totale MPG score. Daarvoor zijn twee redenen:

Doorgaans is het BVO van de hal gelijk aan het grondoppervlak dat gefundeerd moet worden. Dit is anders dan bij woningen of kantoren waarbij het grondoppervlak in 90% van de gevallen kleiner is dan het BVO (Afbeelding 34).



Afbeelding 34: Grondoppervlak hal en BVO versus grondoppervlak woning/kantoor en BVO.

Daarnaast kan de verticale belasting op een hal erg hoog zijn (vooral bij distributiecentra met stellingen) waardoor de vloer volledig onderheid moet worden. Dit leidt tot een zware fundering in vergelijking met een kantoor of woning (Afbeelding 35).



Afbeelding 35: Hoge belasting hal leidt tot relatief zware fundering vergeleken bij kantoor/woning.

Vooral lange funderingspalen onder de vloer leiden tot hoge MPG scores. Dit is een fenomeen dat specifiek bij hallen speelt. Onder de vloer worden hoofdzakelijk vibroSD palen toegepast. De beschikbare productkeuzes voor funderingspalen staan in Afbeelding 36.

Funderingspalen					
Product (☐ Ongetoetst ☒ Getoetst)	Aantal	Dimensie 1	Dimensie 2	Toelichting	
☒ ☐ Beton, 20% puingranulaat; in 't ...	1000 m1				
☒ ☐ Beton, Energiepaal, 0%	1000 m1				
☒ ☐ Beton, Energiepaal, 20%	1000 m1				
☒ ☐ Beton; in 't werk gestort, vibro...	1000 m1				
☒ ☐ Beton; in grond gestorte paal (l...	1000 m1	250	250		
☒ ☐ Beton; Prefab, met	1000 m1	250	250		
☒ ☐ Beton; Prefab, met slanke	1000 m1				
☒ ☒ Helpaai; beton, prefab; AB-FAB	1000 m1	350	350		
☒ ☐ Hout, inclusief oplanger	1000 m1	190			
☒ ☐ Schroefpaai; beton, in het werk g...	1000 m1	400			
☒ ☐ Stalen buispaai, 0% granulaat; r...	1000 m1				
☒ ☐ Stalen buispaai, 20% granulaat; ...	1000 m1				
☒ ☒ VOBN; schroefpaai; beton, in het ...	1000 m1				

Afbeelding 36: Productkeuzes voor funderingspalen met rood de keuzes voor de funderingspalen onder de vloer.

De twee representatieve funderingspalen hebben geen dimensie 1 of dimensie 2 die de gebruiker kan wijzigen maar de diameter is vastgezet op 320 mm terwijl in de praktijk diameters van 180 mm of 220 mm worden toegepast. Dit leidt door de beperkte keuze in de webtool tot overschatting van de MPG score voor de funderingspaal:

Vergelijking 2: Overschatting materiaal funderingspaal onder de vloer.

$$\frac{320^2}{180^2} = 3,2 \times$$

$$\frac{320^2}{220^2} = 2,1 \times$$

Vergelijking 2 laat zien dat afhankelijk van de werkelijk toegepaste diameter het materiaal in de funderingspaal met een factor twee à drie wordt overschat. De fundering bestaat uit funderingsbalk, funderingspaal onder de funderingsbalk en de funderingspaal onder de vloer waardoor de MPG score niet 1 op 1 lager wordt. Als de fundering in detail beschouwd wordt heeft de funderingspaal onder de vloer wel het grootste aandeel (90%, zie Tabel 30)

Tabel 30: 90^e percentiel (P90) fundering in detail [€/ (m²BVO·jaar)].

	P90, paal niet geschaald	P90, paal geschaald	Vershil
Funderingsbalk	0,02	0,02	0%
Funderingspaal onder balk	0,01	0,01	0%
Funderingspaal onder vloer	0,28 (90%)	0,15	-45%
Totaal fundering	0,31	0,18	-40%
Totaal MPG score gebouw	0,91	0,78	-14%

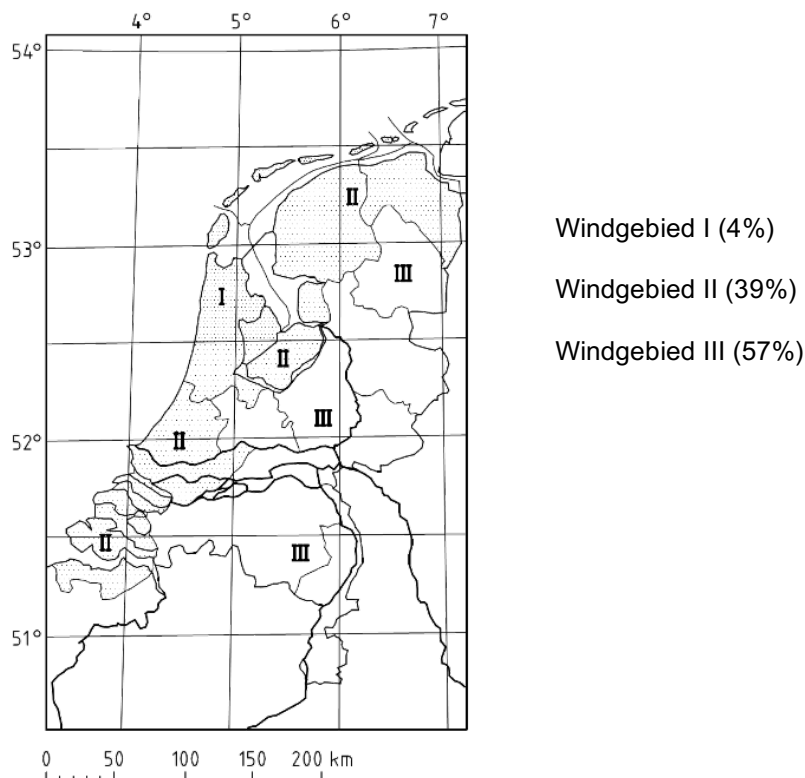
Als de funderingspaal onder de vloer geschaald wordt volgens Vergelijking 2 levert dit een kleine 50% winst op de P90 van de funderingspaal onder de vloer. Daarmee wordt de P90 voor de fundering 0,18 €/m²BVO·jaar) en de totale MPG 0,78 €/m²BVO·jaar). De geschaalde funderingspaal levert een winst op de totale MPG score van een kleine 15%.

8.2 Locatie

Bij de grenswaarde voor kantoren en woningen wordt geen onderscheid gemaakt naar de locatie. In sommige gevallen kan de locatie zorgen dat exact hetzelfde gebouwontwerp een verschillende MPG score krijgt. In deze paragraaf wordt bekeken in hoeverre de locatie tot ongunstige MPG scores kan leiden voor een vergelijkbaar halontwerp. Daarbij wordt gekeken naar de invloed van het windgebied en de invloed van de grondgesteldheid.

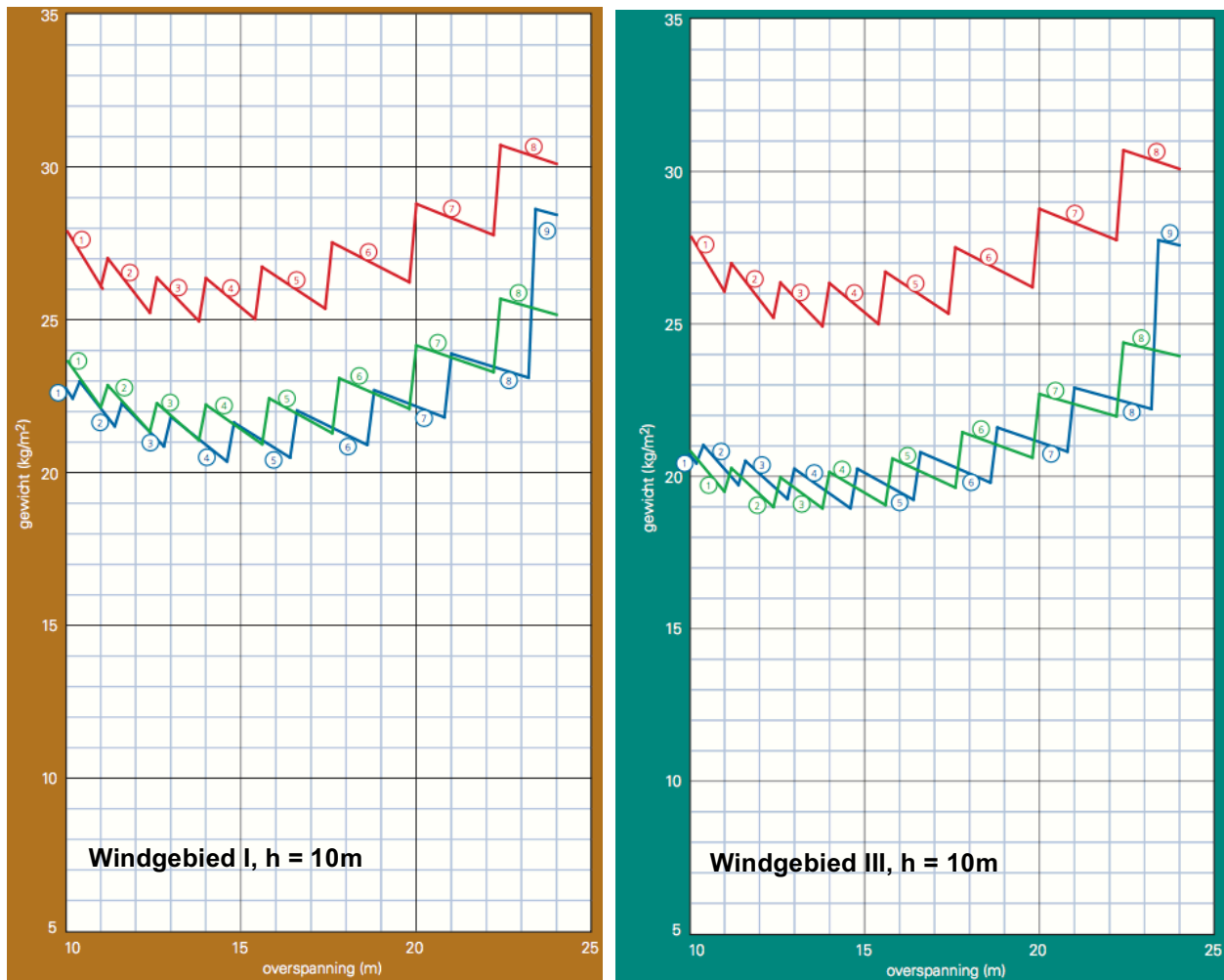
8.2.1 Windgebied

In Nederland zijn drie windgebieden aangewezen met een oplopende windbelasting van windgebied III (verder in het binnenland) tot windgebied I (langs de kust). Afbeelding 37 laat zien dat windgebied I geldt voor slechts 4% van het landoppervlak. Windgebied II omvat 39% van het landoppervlak en windgebied III 57%. Verder is er nog een kuststrook aangewezen maar het oppervlak hiervan is verwaarloosbaar.



Afbeelding 37: : Windgebieden in Nederland (windgebied I is hoogste windbelasting)

Een hogere windbelasting kan leiden tot een zwaardere profilering van de kolom en ligger in de hal die samen ongeveer 70% van het totale constructiegewicht uitmaken. Verder worden ook regels en windverbanden zwaarder. Afbeelding 38 laat voor dezelfde hal in twee windgebieden zien wat het gewicht is per vierkante meter afhankelijk van de overspanning en de hart-op-hart afstand van de spanten. Vergeleken wordt de hoogste windbelasting in windgebied I en de laagste windbelasting in windgebied III voor een hal met een hoogte van 10 m. De grafiek laat voor overspanningen tussen 10 m en 24 m zien hoeveel de kolom en ligger samen wegen in kg/m². Rood is een hart-op-hart afstand van 5 m, groen een hart-op-hart afstand van 7 m en blauw een hart-op-hart afstand van 8 m.



Afbeelding 38: Gewicht staalconstructie hal windgebied I en windgebied III.

Voor de hart-op-hart afstand van de portalen van 5 m maakt levert het windgebied weinig extra materiaalverbruik. Voor een hart-op-hart afstand van 7 m of 8 m is de hoeveelheid extra staal ongeveer 2 a 3 kg/m² extra. Dit levert een extra MPG score op van ongeveer +0,002 €/ (m²BVO·jaar) . Daarbij is het 90^e percentiel voor de draagconstructie 0,09 €/ (m²BVO·jaar) en derhalve is de invloed van het windgebied verwaarloosbaar.

8.2.2 Grondgesteldheid

De MPG scores laten zien dat de fundering bij een hal en relatief hoog aandeel kan hebben in de MPG score. Dit als gevolg van het gegeven dat het te funderen oppervlak (= grondoppervlak) gelijk is aan het BVO en dat een hal een erg hoge belasting kan krijgen.

Verder speelt de grondgesteldheid een rol door de diepte van de draagkrachtige laag die in het Westen van het land tot lange funderingspalen leidt. Zo kan een distributiecentrum in Gouda palen vragen van 24 m gecombineerd met een dicht grid van 1,7 m bij 1,7 m. Deze situatie wordt vergeleken met een distributiecentrum in het Zuiden van het land met palen van 5 m die ook nog eens op een ruimer grid van 2,5 m bij 2,5 m staan. Afbeelding 39 laat zien welke materiaalopties er zijn voor de funderingspalen inclusief materiaalkeuzes. Voor de paal onder de funderingsbalk wordt een prefab betonnen paal genomen en voor de paal onder de vloer een in het werk gestorte vibropaal. De funderingsbalk zelf wordt niet meegenomen omdat deze hetzelfde is voor beide situaties.

Product (☐ Ongetoetst ☒ Getoetst)	Aantal	Dimensie 1	Dimensie 2	Toelichting
☒ Beton, 20% puingranulaat; ☐ ?	m1			Paal onder vloer
☒ Beton, Energiepaal, 0% ☐ ?	m1			
☒ Beton, Energiepaal, 20% ☐ ?	m1			
☒ Beton; in 't werk gestort, ☐ ?	m1			
☒ Beton; In grond gestorte ☐ ?	m1	250	250	
☒ Beton; Prefab, met ☐ ?	m1	250	250	
☒ Beton; Prefab, met slanke ☐ ?	m1			
☒ ☒ Heipaal; beton, prefab; AB- ☐ ?	m1	350	350	Paal onder balk
☒ Hout, inclusief oplanger ☐ ?	m1	190		
☒ Schroefpaal; beton, in het ☐ ?	m1	400		
☒ Stalen buispaal, 0% ☐ ?	m1			
☒ Stalen buispaal, 20% ☐ ?	m1			
☒ ☒ VOB; schroefpaal; ☐ ?	m1			

Afbeelding 39: Materiaalkeuzes voor de funderingspalen onder funderingsbalk en vloer.

Voor een distributiecentrum met afmeting 80x110x20 m staan de resultaten in Tabel 31. De grondgesteldheid heeft wel degelijk invloed op de MPG score. De score voor de fundering van de hal in het Zuiden des lands is een factor 10 lager dan die in Gouda. Daarnaast is de MPG score van de hal in Gouda in absolute zin hoog (€0,5).

Tabel 31: MPG score voor distributiecentrum met lange funderingspalen onder vloer.

	Gouda		Zuiden des lands	
	Paal balk	Paal vloer	Paal balk	Paal vloer
h.o.h. / grid	5	1,7	5	2,5
Lengte	24	24	5	5
Afmeting	□ 400	220	□ 300	180
MPG Score	0,02€/(m ² BVO jaar)	0,48€/(m ² BVO jaar)	0,002€/(m ² BVO jaar)	0,05€/(m ² BVO jaar)
MPG totaal	0,50 €/(m ² BVO jaar)		0,052 €/(m ² BVO jaar)	

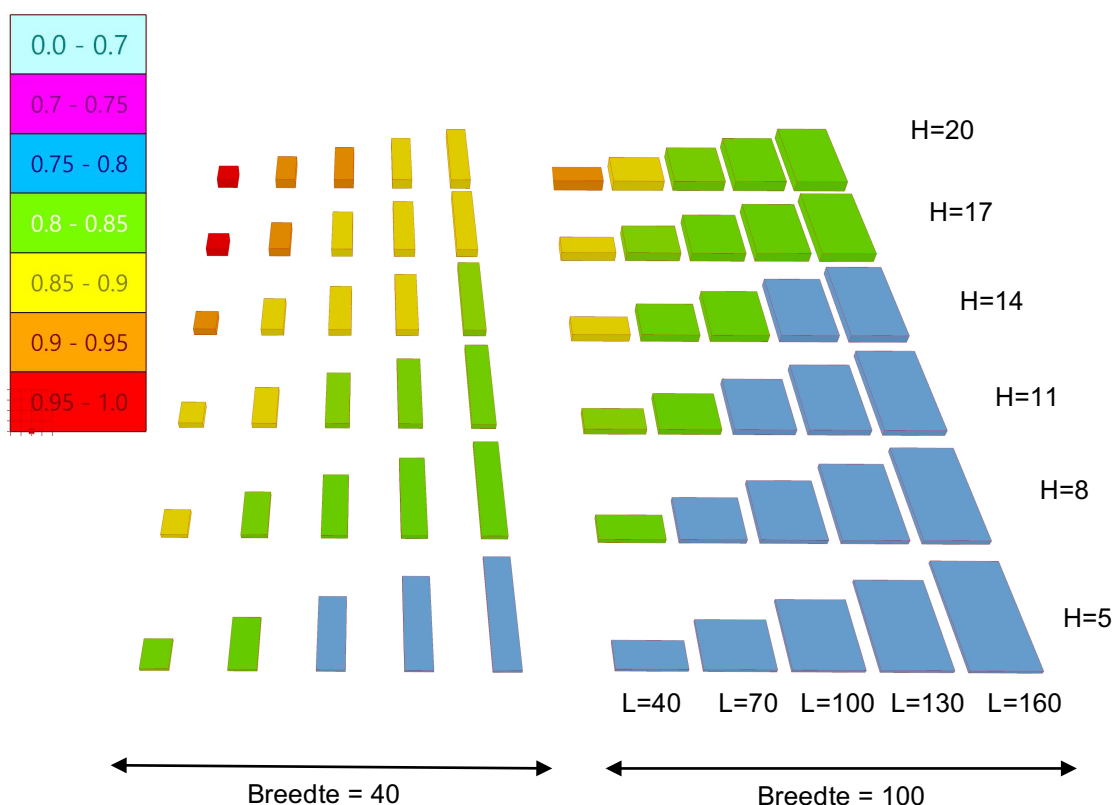
8.3 Invloed hoogte

Het parametrisch model heeft drie basisparameters te weten de breedte (B), de lengte (L) en de hoogte (H). Met 6 breedten, 5 lengten en 6 hoogtes zijn er in totaal 180 hallen. Om een realistische afmeting van de hal te krijgen wordt de hoogte beperkt tot maximaal de helft van de breedte. Daarmee blijven 165 hallen over waarvoor de totale MPG scores per hal bepaald worden en daarnaast de MPG scores over alle hallen samen. Tabel 32 geeft een overzicht van de gekozen waarden voor de parameters.

Tabel 32: Overzicht waarden voor breedte, lengte en hoogte.

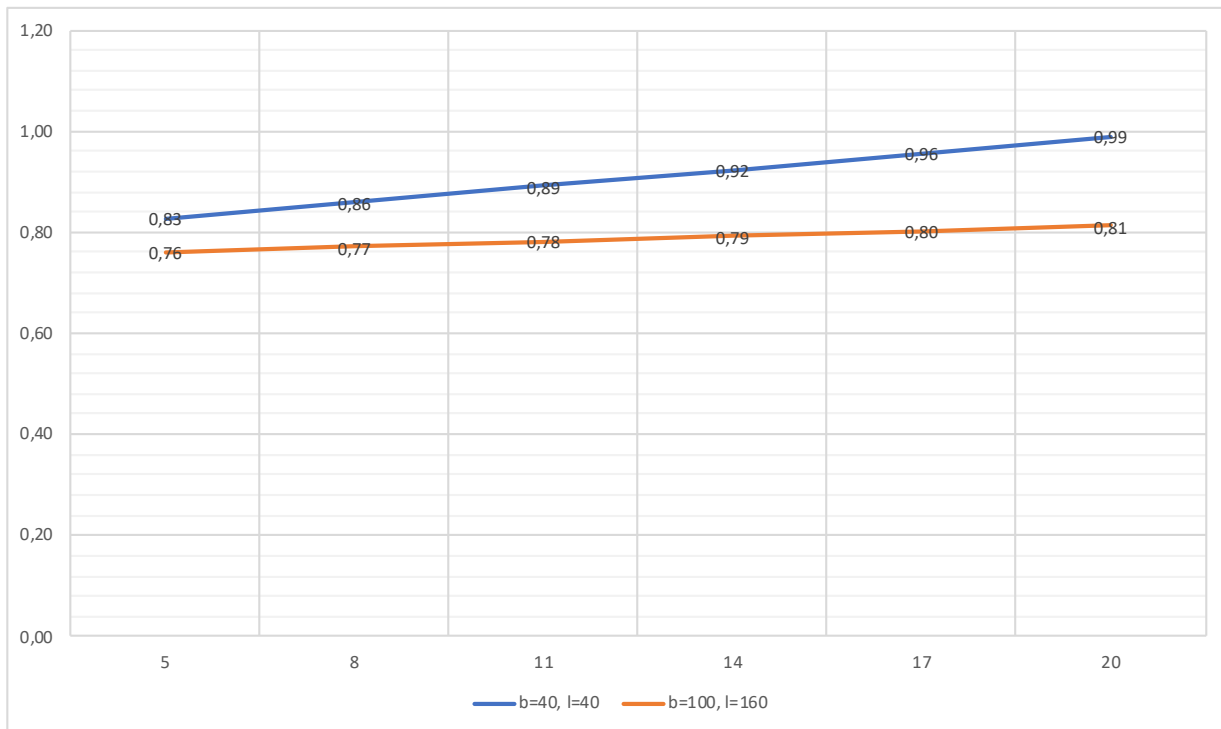
	Waarde					
Breedte [m]	25	40	55	70	85	100
Lengte [m]	40	70	100	130	160	-
Hoogte [m]	5	8	11	14	17	20

Afbeelding 40: MPG scores per hal afhankelijk van de hoogte. laat voor kleinere hallen met een breedte van 40 m en voor grote hallen met een breedte van 100 m de MPG scores per hal zien.



Afbeelding 40: MPG scores per hal afhankelijk van de hoogte.

De twee uitersten in Afbeelding 40: MPG scores per hal afhankelijk van de hoogte. zijn een hal met een breedte van 40 m en een lengte van 40 m en een hal met een breedte van 100 m en een lengte van 160 m. Afbeelding 41: Verloop MPG score bij toename hoogte hal. laat het verloop van de MPG score zien bij een oplopende hoogte van 5 m tot en met 20 m. Het gaat hier om het 90^e percentiel wat inhoudt dat 90% van alle opties leiden tot een lagere MPG score.



Afbeelding 41: Verloop MPG score bij toename hoogte hal.

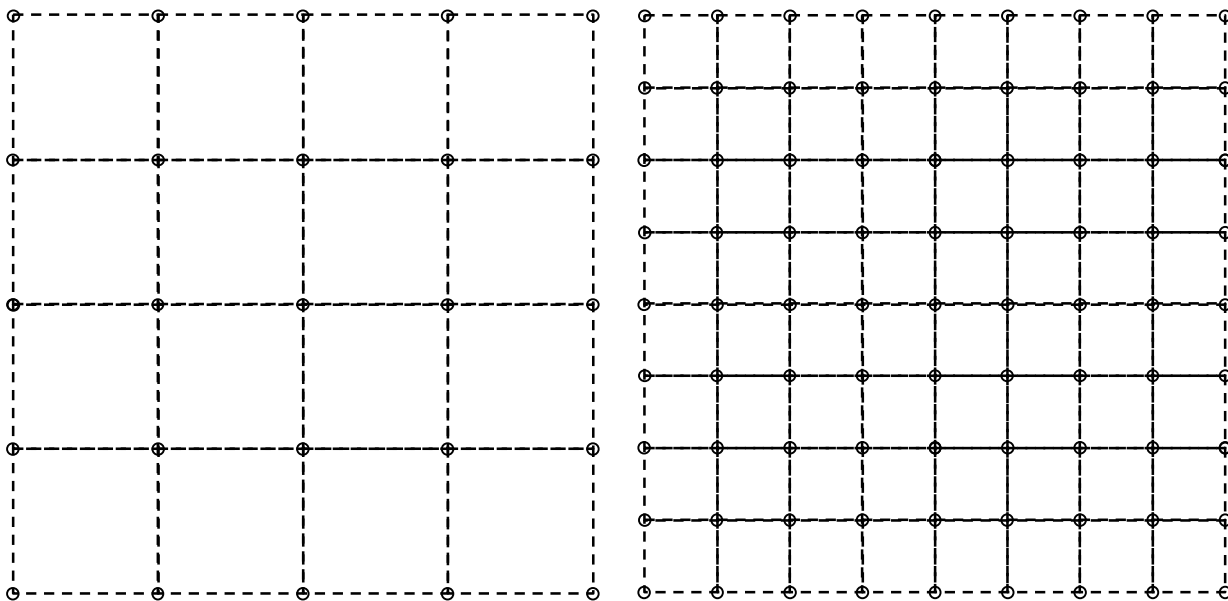
De MPG score stijgt als de hoogte van de hal groter wordt. De stijging is groter bij kleinere hallen en lager bij grotere hallen. Bij grote hallen heeft de hoogte relatief weinig invloed op de totale MPG score. Bij een kleine hal kan een hoogte van 20 m zorgen voor een MPG score die rond de 25% hoger ligt dan bij dezelfde hal met een hoogte van 5 m. Toch heeft een 4 keer zo hoge hal een MPG score die slechts +25% meer is.

8.4 Functie van de hal

De variatie van de processen in de een hal is veel groter dan in een kantoor of woning. Binnen hallen zijn in feite verschillende functies te onderscheiden. Het distributiecentrum en vrieshuis worden nader bekeken:

- Distributiecentrum:

Het distributiecentrum wordt praktisch altijd ontworpen op een hoge belasting op de vloer (50 kN/m^2). Soms is het niet direct vereist maar vanwege flexibiliteit wordt de opdrachtgever aangeraden toch op deze vloerbelasting te bouwen. Een vloerbelasting van 50 kN/m^2 leidt tot een grid voor de funderingspalen van ongeveer $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ terwijl de standaardvloerbelasting (10 kN/m^2) voor hallen over het algemeen af kan met een grid van $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ wat ongeveer 4 keer in aantal funderingspalen betekent (Afbeelding 42).



Afbeelding 42: Palenraster 4x4 vs palenraster 2x2

Staat het distributiecentrum ook nog eens op een ongunstige locatie met een slechte grondgesteldheid waardoor lange palen nodig zijn dan kan de MPG score voor alleen al de funderingspalen oplopen tot $0,5 \text{ €/}(m^2 \text{BVO} \cdot \text{jaar})$ voor een individuele hal (zie paragraaf 8.2.2).

- Vrieshuis

De koelinstallatie van het vrieshuis mag buiten de MPG score blijven omdat alleen de gebouwgebonden energie voor verwarming en verlichting wordt meegenomen. Wel vraagt een vrieshuis om hogere isolatiewaarden van de gevel, dak en de vloer. Aanname is dat de R_c -waarde voor de gebouwschil voor alle onderdelen naar $10 \text{ m}^2\text{K/W}$ [12]. Vooral voor de vloer en de gevel gaat de isolatiewaarde omhoog (Tabel 33).

Tabel 33: Isolatiewaarden Bouwbesluit versus isolatiewaarden vrieshuis.

	Bouwbesluit	Vrieshuis
Vloer [$\text{m}^2\text{K/W}$]	3,5	10
Gevel [$\text{m}^2\text{K/W}$]	4,5	10
Dek [$\text{m}^2\text{K/W}$]	6	10

De hogere isolatiewaarde neemt het model mee door de producten te schalen wat over het algemeen een twee keer zo hoge MPG score oplevert op het gebied van isolatie. De totale MPG score (het 90^e percentiel) komt uit op 1,05 (Tabel 34).

Tabel 34: MPG scores (90^e percentiel, P90) Bouwbesluit isolatie en vrieshuis isolatie.

	P90, Bouwbesluit	P90, vrieshuis	Vershil %
fundering	0,31	0,31	0%
vloeren	0,09	0,09	+2%
draagconstructie	0,09	0,09	0%
gevels	0,13	0,22	+70%
daken	0,16	0,21	+30%
installaties	0,12	0,12	0%
totaal	0,91	1,05	+17%

Het verschil komt hoofdzakelijk door hogere score op gevels en daken. De MPG score van de vloer verandert weinig omdat sommige producten niet schaalbaar zijn waardoor het niet mogelijk is om de hogere isolatiewaarde ($10 \text{ m}^2\text{K/W}$) in te voeren en het effect hiervan dan ook niet zichtbaar wordt. Verder is de begane grondvloer slechts over een klein gedeelte (een rand van 3 m) geïsoleerd is. Al met al heeft het meenemen van de daadwerkelijke gebouwschil voor het vrieshuis een kleine +20% invloed op de totale MPG score als de isolatiewaarden voor alle 165 hallen op $10 \text{ m}^2\text{K/W}$ worden gesteld.

8.5 Effect van niet getoetste LCA data op de MPG score

De Nationale Milieudatabase bevat de LCA data van bouwproducten en levert deze LCA data aan de rekeninstrumenten waarmee de MPG berekening gemaakt wordt. De LCA data is in te delen in drie categorieën:

- categorie 1 data: dit is LCA data van een product van een specifieke fabrikant die door een onafhankelijke toetser getoetst is;
- categorie 2 data: dit is LCA data van gemiddelde van een groep producten van een aantal fabrikanten samen uitgegeven door een brancheorganisatie en ook getoetst door een onafhankelijke toetser;
- categorie 3 data: dit is ongetoetste LCA data veelal verkregen uit literatuur of internet. Het kan ook categorie 1 of categorie 2 LCA data zijn waarvan de geldigheidsduur van 5 jaar is overschreden. Alle categorie 3 LCA data krijgt een straf van +30% bovenop de LCA uitkomsten.

De bouwkundig ontwerper kan in de MRPI-MPG webtool zien of de LCA data getoetst is door een groen vinkje voor het product (Afbeelding 43).

Product (☐ Ongetoetst ☒ Getoetst)	Aantal	Dimensie 1	Dimensie 2
☒ Cellulair glas	10000 m2	3,5	
☒ Cellulose	10000 m2	3,5	
☒ EPS	10000 m2	3,5	
☒ EPS-PL Platinum Panels	10000 m3		
☒ Fenolischuim platen	10000 m2	3,5	
☒ FOAMGLAS F; thermische isolatie...	10000 m2	160	
☒ FOAMGLAS S3; thermische isolatie...	10000 m2	160	
☒ FOAMGLAS T4+; thermische isolatie...	10000 m2	145	

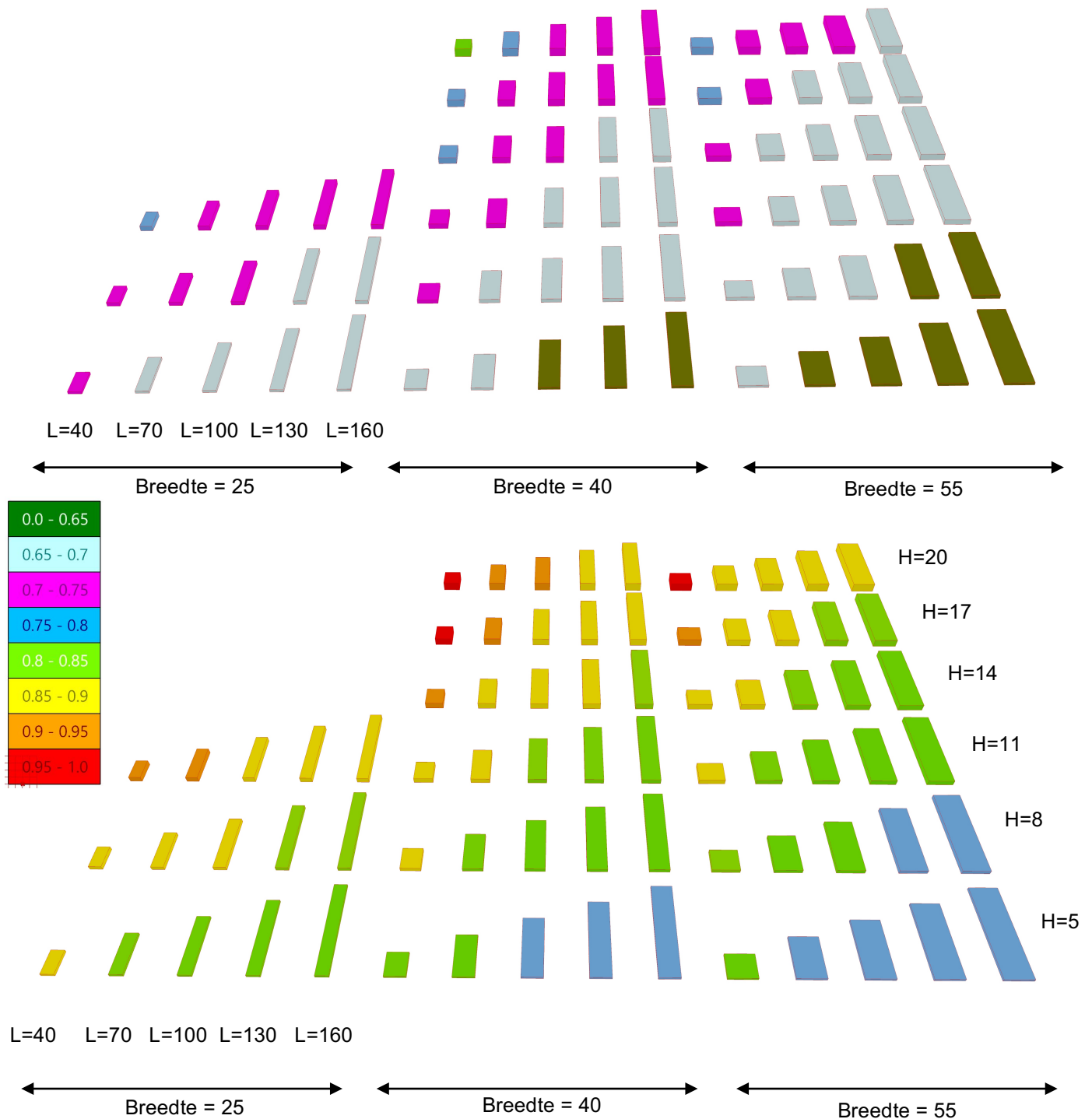
Afbeelding 43: aanduiding getoetste LCA data voor product in MRPI-MPG webtool.

In het parametrisch model zijn ongeveer 90 producten meegenomen die representatief zijn voor toepassing in hallen. Van deze producten is iets meer dan de helft ongetoetst (bijlage C). In het parametrisch model wordt kunstmatig de LCA data van deze producten met 30% verlaagd als het product een categorie 3 product is. De resultaten staan in Tabel 35.

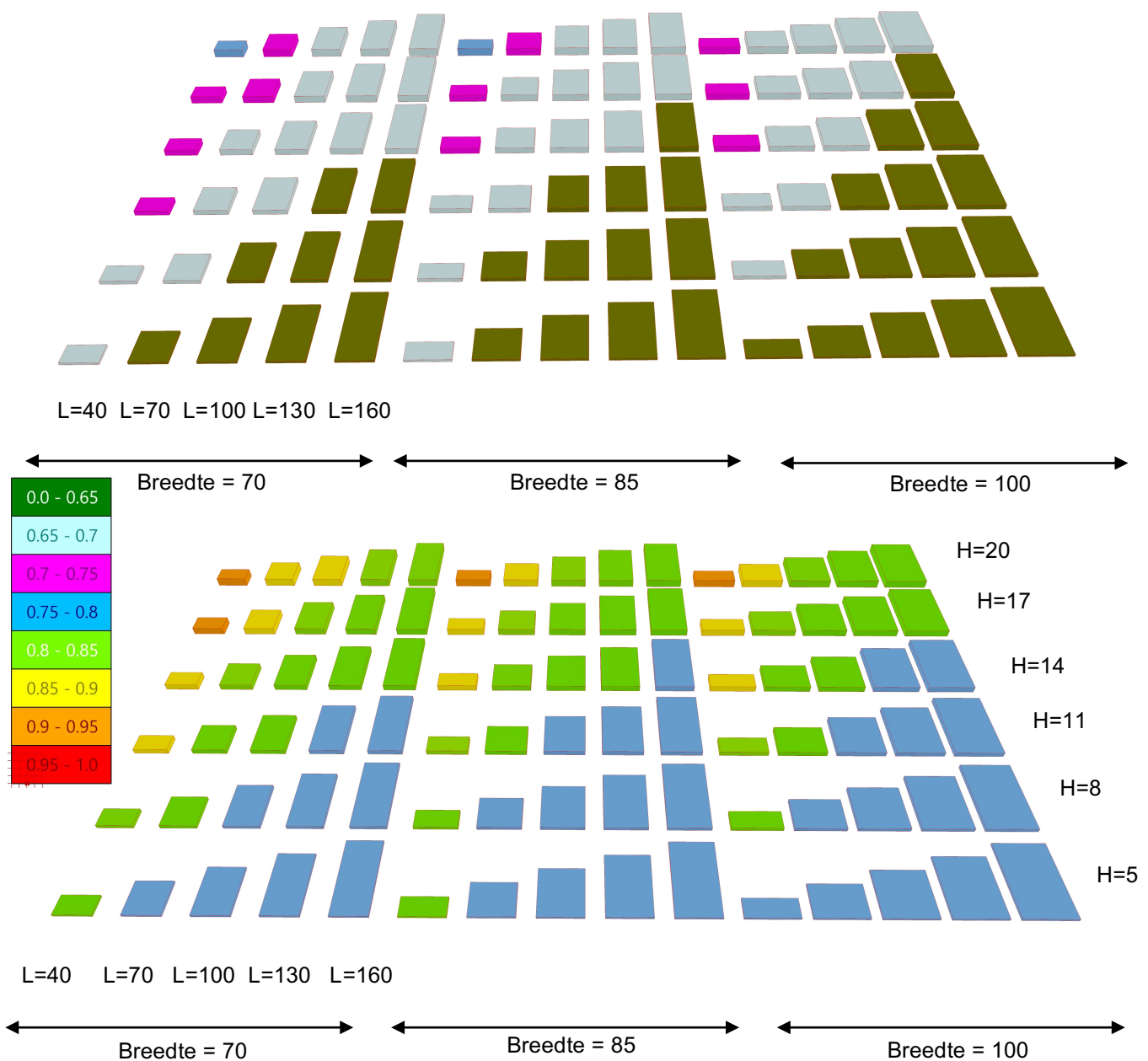
Tabel 35: Vergelijking huidige situatie met situatie alle LCA data getoetst.

	P90, getoetst & ongetoetst	P90, alles getoetst	Vershil %
fundering	0,31	0,23	-29%
vloeren	0,092	0,064	0%
draagconstructie	0,094	0,086	-8%
gevels	0,13	0,11	-15%
daken	0,16	0,15	-6%
installaties	0,12	0,083	-30%
totaal	0,91	0,76	-16%

Als alle LCA data getoetst zou zijn gaat het 90^e percentiel P90 van 0,91 €/m²BVO·jaar naar 0,76 €/m²BVO·jaar. Dit is een reductie van ongeveer -16%. Vooral bij de gebouwonderdelen fundering (-29%) en installaties (-30%) zorgt getoetste data voor winst. Dit komt bij de fundering doordat de vibropalen ongetoetst zijn en deze werken zwaar door in de fundering (P90 funderingspaal onder vloer is 0,28 €/m²BVO·jaar). Verder is alle LCA data voor installaties ongetoetst (zie bijlage C). Naar de toekomst kan het een realistisch scenario zijn omdat een toekomstige aanscherping van de grenswaarde leidt tot meer getoetste producten en het geeft inzicht wat met de huidige producten al haalbaar is. Afbeelding 44 en Afbeelding 45 laten voor respectievelijk kleine hallen en grote hallen zien wat er met de het P90 percentiel van de MPG score gebeurt als het parametrisch model alle LCA data als getoetst beschouwt.



Afbeelding 44: Vergelijking alle LCA data getoetst (kleine hallen)

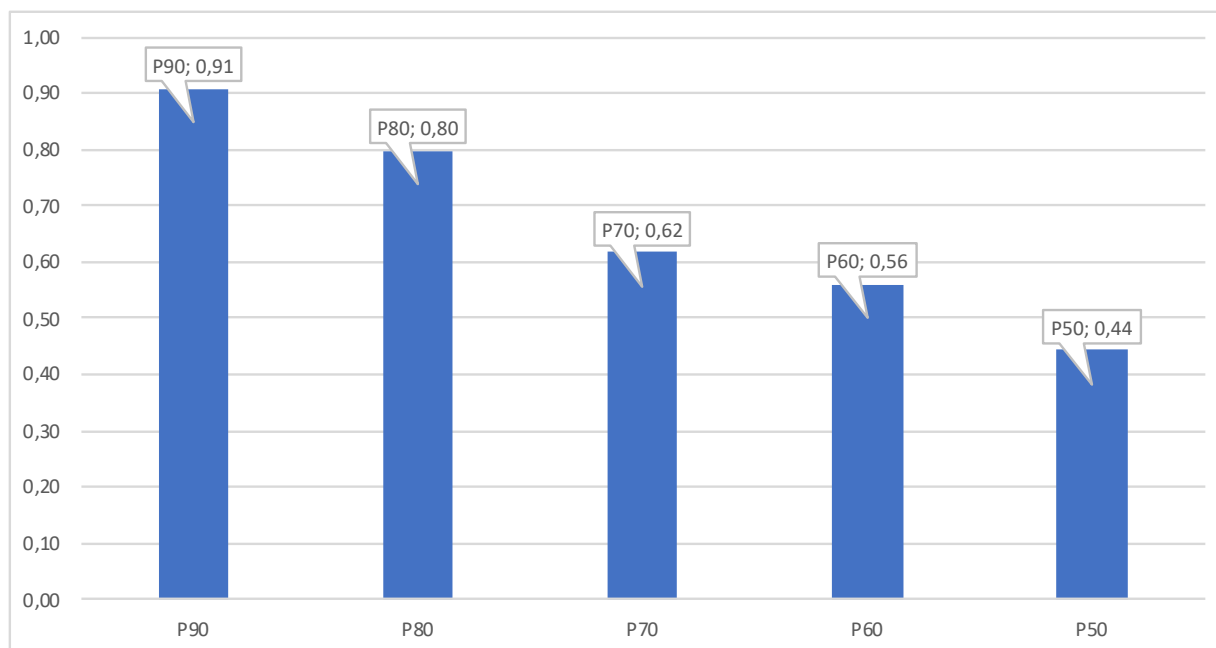


Afbeelding 45: Vergelijking alle LCA data getoetst (grote hallen)

Als alle LCA data van de producten getoetst zou zijn, is er bij de kleine hallen nog één hal met een MPG score tussen 0,8 €/m²BVO·jaar en 0,85 €/m²BVO·jaar. De rest zit er onder. Met de huidige LCA data zit geen van de hallen onder 0,7 €/m²BVO·jaar. In een situatie waarin alle LCA data getoetst zou zijn zit een groot deel van de grote hallen onder 0,65 €/m²BVO·jaar. Daarbij is de kleinste waarde 0,61 €/m²BVO·jaar terwijl de kleinste waarde met de huidige LCA data 0,76 €/m²BVO·jaar is.

8.6 Aanscherpen van de grenswaarde

0,91 €/m²BVO·jaar) lijkt een redelijkerwijs goed te onderbouwen advies voor een anno 2021 in te voeren grenswaarde. Dit is de waarde waaraan 90% van de hallen zou kunnen voldoen met de huidige LCA data en de beperkingen van de rekeninstrumenten. Afbeelding 46 laat naast de 90% percentielscore (P90) ook de percentielscores P80 tot en met P50 zien.



Afbeelding 46: Percentielscores P90 tot en met P50 in €/m²BVO·jaar) .

Stel dat de grenswaarde op termijn gehalveerd wordt van 0,91 €/m²BVO·jaar) naar ongeveer 0,45 €/m²BVO·jaar) dan blijkt, zonder dat de markt gereageerd heeft op de nieuwe grenswaarde met getoetste producten en producten specifiek voor hallen, nog steeds 50% van de hallen te kunnen voldoen. Als een tussenstap een reductie is naar 70% van de grenswaarde (ongeveer 0,64 €/m²BVO·jaar) dan kan nog steeds 70% van de hallen aan deze grenswaarde voldoen zonder ontwikkelingen in verbeterde productdata (Productkaarten in de NMD).

8.7 Beperkingen van de rekeninstrumenten

De bouwkundig ontwerper, architect of constructeur kan nooit exact het bouwkundig ontwerp invoeren. Daarvoor zijn een aantal redenen:

- De rekeninstrumenten bevatten niet alle bouwproducten die toegepast worden;
- De producten voor hallen zijn beperkt omdat fabrikanten vooral bouwproducten aan de Nationale Milieudatabase aanbieden die worden toegepast in woningen en kantoren omdat alleen nog maar voor deze gebouwtypen de MPG berekening verplicht is;
- Soms wordt een variant op een product toegepast maar is het niet mogelijk om het product te schalen. Dit geldt voor alle installaties;
- Voor sommige bouwproducten is de geldigheid van de LCA data (zogenoemde categorie 3 data) verlopen en krijgt het bouwproduct een straf van + 30%.

Al met al kan het leiden tot onrealistische en soms te hoge MPG scores. Per gebouwonderdeel wordt aangegeven waar verbeteringen mogelijk zijn.

Funderingsbalk

De hoogste betonkwaliteit is C30/37 en hoger is niet mogelijk;

De in het werk gestorte funderingsbalken nemen alleen EPS bekisting mee; andere is niet mogelijk;

Er zijn een beperkt aantal cementmengsels te kiezen en de wapening in de funderingsbalk ligt altijd vast.

Funderingspaal onder de funderingsbalk & funderingspaal onder de vloer

De in het werk gestorte vibropaal is niet schaalbaar;

De in het werk gestorte vibropaal is categorie 3 LCA data en krijgt derhalve een straf van +30%;

De vibropaal is niet gewapend terwijl in de palen die in de NMD opgenomen zijn wel wapening is meegenomen;

Er is een vrij ruime keus aan palen in de NMD maar slechts 2 zijn enigszins toepasbaar voor funderingen voor hallen.

Vloeren

Het is niet mogelijk om vezelwapening toe te passen met glasvezels of staalvezels;

Er zijn een beperkt aantal cementmengsels te kiezen en de wapening in de vloer ligt altijd vast;

De vloeren zijn altijd gewapend met wapeningsnetten. Dit is niet representatief voor vloeren in de hallenbouw.

Isolatie vloer, gevel en dak

Er zijn 60 soorten isolatieproducten te kiezen die vaak ook schaalbaar zijn; uiteraard staat nooit alles er precies maar het ontwerp kan voldoende nauwkeurig ingevoerd worden;

Wel is het zo dat de eenheid van de dimensie bij isolatie varieert; de meeste producten hebben als eenheid de R_c -waarde, anderen schalen op de dikte in mm en sommige laten geen schaling toe. Dit leidt tot onvergelykbare keuzes;

Draagconstructies

Er zijn alleen keuzes voor in het werk gestorte betonmortels en prefab beton is niet beschikbaar onder constructies;

De betonkwaliteiten C20/25 en C30/37 zijn beschikbaar maar hoger niet;

Of het prefab beton is voorgespannen of niet is niet duidelijk uit de toelichting;

Er is een beperkt aantal betonmengsels beschikbaar.

Gevels

Prefab beton panelen (lichtbeton en beton) zijn alleen bedoeld voor woningbouw;

Alle merkonafhankelijke sandwichpanelen zijn categorie 3 data wat een straf van +30% betekent;

Alle merkonafhankelijke beplating is categorie 3 data wat een straf van +30% betekent;

Binnendoosconstructie niet te kiezen, al wordt dit tegenwoordig minder toegepast bij hallen;

Daken

Veel producten specifiek voor kantoren woningen (bijvoorbeeld breedplaten, appartementenvloer, leidingvloer);

Voor een stalen dak wordt een staal frame element gegeven wat normaal toegepast wordt in woningbouw. Dit is categorie 3 data en krijgt derhalve een straf van +30 %;

Standaard dakplaten zijn niet te kiezen onder “daken”;

Er is een verzinkte dakplaat beschikbaar als “dakbedekking” doch dit is categorie 3 data met een straf van +30 %.

TT platen niet te kiezen.

Er zijn totaal slechts 4 producten beschikbaar voor lichtstraten waarvan er maar 1 toepasbaar is voor een hal.

Installaties

De warmteopwekkingsinstallaties zijn of voor W-bouw of voor U-bouw;

De installaties zijn niet schaalbaar. Zo is een Hr-ketel bijv. 65 W/m² terwijl het werkelijk vermogen voor de hal veel groter kan zijn. Dit geldt ook voor de warmtepomp en de vloerverwarming;

Voor de elektrische installatie is aarding kantoorgebouw en aarding woningen beschikbaar maar niet voor hallen;

Voor verlichting zijn slechts 3 producten beschikbaar met een bepaald wattage maar niet schaalbaar;

Alle PV systemen zijn categorie 3 wat betekent dat ze een straf van +30% hebben gekregen;

De PV systemen hebben een specifieke configuratie met een inverter en steunconstructie. Deze configuratie is niet schaalbaar en aan te passen;

Over het algemeen zijn de materialen in de installatie omgerekend naar een bepaalde MPG score per vierkante meter kantoor of woning. Het zou goed kunnen dat dit anders ligt bij hallen.

9 Samenvatting MPG scores, gevoeligheidsanalyse, voorschrijdend inzichten en BREEAM dataset

9.1 MPG scores

De MPG scores op de gebouwonderdelen voor een industriehal zijn bepaald voor zogenoemde percentielen. Het p10-percentiel bijvoorbeeld is de score waarbij 10% van de ontwerpen beter scoort en 90% slechter. De percentielscores zijn een optelling van de percentielscore per gebouwonderdeel. Dit leidt tot een ongunstiger waarde dan alle opties in één model genereren en in één model bepalen. Tabel 36 geeft het overzicht.

Tabel 36: Totale MPG score in €/m² BVO jaar): percentielen p10-p90

	P10	P50	P75	P90
fundering	0,01	0,08	0,20	0,31
vloeren	0,00	0,04	0,08	0,09
draagconstructie	0,04	0,06	0,09	0,09
gevels	0,02	0,06	0,09	0,13
daken	0,06	0,12	0,15	0,16
installaties	0,07	0,09	0,11	0,12
totaal	0,20	0,44	0,72	0,91

Op basis van Tabel 36 kan het volgende geconcludeerd worden:

- p10: 10% van de ontwerpen haalt een MPG score van €0,20/(m²BVO jaar). Deze waarde geeft een indruk van hoe een duurzaam ontwerp kan scoren bijvoorbeeld de BREEAM outstanding hal;
- p50: 50% van de ontwerpen haalt een lagere MPG score dan €0,44/(m²BVO jaar) en 50% scoort er boven;
- p75: 75% van alle ontwerpen haalt een MPG score lager dan €0,72/(m²BVO jaar). Dit geeft een indruk van de gebouwen die zouden kunnen voldoen aan een eerste aanscherping van de grenswaarde;
- p90: 90% van alle ontwerpen haalt een MPG score lager dan €0,91/(m²BVO jaar). Deze waarde is een hoge afchatting van het 90% percentiel door de optelling van afzonderlijke percentielen.

9.2 Gevoeligheidsanalyse

- a) De hogere isolatie eisen uit het huidige vigerende Bouwbesluit 2015 t.o.v. het Bouwbesluit 2012 leiden weliswaar tot een +52% hogere MPG score voor isolatie maar het aandeel in de totale MPG score is beperkt (11%).
- b) De MPG score voor de brandwand ligt tussen 0,0009 €/m²BVO·jaar) en 0,038 €/m²BVO·jaar) .
- c) De kraanbaan heeft nauwelijks invloed op de MPG score.
- d) 1 op 1 doorbelasten van PV panelen zorgt dit voor een toename van de MPG van 0,8 €/m²BVO·jaar) tot 2,28 €/m²BVO·jaar) . Het voorstel is om PV panelen door te belasten voor het gebouwgebonden energiegebruik (29%).

9.3 Voortschrijdende inzichten

- a) De fundering heeft een aandeel van 30%-40% in de MPG score doordat het hele vloeroppervlak van de hal onderheid moet worden en doordat een hal een hoge belasting heeft;
- b) De grondgesteldheid van de locatie is bepalend voor de MPG score van de fundering. Heipalen van 24 m op een dicht grid vergeleken met heipalen van 5 m op een wijder grid leiden tot een 10x zo hoge MPG score $0,5 \text{ €/}(m^2\text{BVO}\cdot\text{jaar})$ voor de fundering;
- c) Het windgebied van de locatie leidt tot hogere windbelasting op de constructie en zwaardere profielen maar heeft nauwelijks invloed op de MPG score;
- d) Een relatief hoge hal (20 m) heeft een hogere MPG score dan dezelfde hal met een kleine hoogte (5 m). Bij relatief hoge hallen (bijv. $40 \times 40 \times 20$) resulteert dit in een MPG score die ongeveer +25% hoger ligt dan dezelfde hal met een kleinere hoogte ($40 \times 40 \times 5$). Voor hallen met grotere afmetingen is het effect steeds kleiner.
- e) Een distributiecentrum wordt ontworpen op een hoge verticale belasting ($50 \text{ kN}/m^2$) terwijl de standaardbelasting voor een werkplaats/standaardhal 5 keer lager is ($10 \text{ kN}/m^2$).
- f) Een vrieshuis heeft R_c -waarden voor vloer, gevel en dak van $10 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ [13]. Dit is significant hoger dan de R_c eisen uit het Bouwbesluit 2015 en leidt tot MPG scores voor gevel en dak die respectievelijk +70% en +30% hoger worden. De totale MPG score ligt een kleine +20% hoger.
- g) Van de 90 producten die in het parametrisch model worden meegenomen is ongeveer 50% niet getoetst wat betekent dat de LCA data met +30% verhoogd is. Kunstmatig verlagen van alle niet getoetste producten resulteert in een totale MPG score van $0,76 \text{ €/}(m^2\text{BVO}\cdot\text{jaar})$ wat ongeveer -16% lager is.

9.4 Rekeninstrumenten en de Nationale Milieu Database

- a) De huidige rekeninstrumenten zijn opgezet voor het bepalen van een MPG waarde voor kantoren en/of woningen en niet ideaal om nauwkeurig de MPG van een industriehal te bepalen. De beschikbare producten voor het bouwen van een hal in de database is volstrekt onvoldoende.
- b) De huidige opzet van de rekeninstrumenten maakt het niet altijd mogelijk om een industriehal nauwkeurig in te voeren omdat producten voor hallen nog niet dekkend in de NMD zijn opgenomen. Een meer gedetailleerde lijst is te vinden in paragraaf 8.7. Zie ook aanbeveling 9.6a).

9.5 BREEAM dataset

- a) De P90 score van de 80 BREEAM hallen is ongeveer $0,82 \text{ €/}(m^2\text{BVO}\cdot\text{jaar})$;
- b) Bij veel hallen is het BVO niet gelijk aan het grondoppervlak maar bevat de hal een verdieping of wordt het oppervlak van stellingen in de hal bij het BVO geteld;
- c) Van de 80 hallen zijn slechts 7 met de laatste versie van de milieudatabase berekend;
- d) De impact van PV op het gebouwonderdeel installaties is ongeveer 75%;
- e) Grotere hallen hebben een lagere MPG score;
- f) De draagconstructie is niet los ingevoerd maar verdeeld over gevel, dak en inbouw.

10 Conclusies en aanbevelingen

10.1 Conclusies

- a) Met de huidige LCA data is een MPG grenswaarde van 0,9 €/m²BVO·jaar haalbaar;
- b) De moderne isolatie-eisen voor industriehallen hebben beperkt invloed op de MPG score (~11 %);
- c) PV panelen hebben een grote invloed op de MPG score;
- d) De fundering is verantwoordelijk voor 30 % - 40 % van de MPG score doordat bij een industriehal de gehele vloer is onderheid;
- e) Als de funderingspaal onder de vloer schaalbaar was dan is de winst op de totale MPG score een kleine 15%.
- f) Een vrieshuis met hoge isolatie-eisen (10 m²K/W) heeft een ongeveer 20% hogere MPG score.
- g) Als alle producten getoetst zouden zijn is het 90^e percentiel van de MPG score 0,76 €/m²BVO·jaar (ongeveer 16 % lager);
- h) De rekeninstrumenten bevatten onvoldoende producten voor de nauwkeurige invoer van industriehallen;
- i) BREEAM staat toe dat bij een distributiecentrum het oppervlak van de stellingen meegenomen wordt als BVO.
- j) Uit de dataset van BREEAM (80 hallen) volgt dat grotere hallen een lagere MPG score hebben;

10.2 Aanbevelingen

- a) Zorg voor productkaarten van installaties voor hallen;
- b) Zorg dat installaties schaalbaar zijn;
- c) Zorg voor meer getoetste producten voor hallen;
- d) Wat is de impact van de nieuwe versie van de NMD; versie 3.0 ?
- e) Wat te doen met de levensduur van de hal. Is die ook op 50 jaar te stellen of wellicht 15 jaar ?
- f) Grenswaarde vastleggen op basis van categorie 2 data;
- g) Neem PV panelen mee voor de gebouwgebonden energie (29%) en onderzoek manier om PV panelen over het gehele dak te stimuleren;
- h) Zorg voor productkaarten van getoetste PV panelen voor hallen;

Colofon

Bouwen met Staal

Louis Braillelaan 80

2719 EK Zoetermeer

T: +31 (0)88 - 353 12 12

E: info@bouwenmetstaal.nl

I: www.bouwenmetstaal.nl

© 2020 Bouwen met Staal, Zoetermeer, Nederland Coverfoto: Parametrisch model genereren JP den Hollander

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotocopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

De Stichting Bouwen met Staal en degenen die aan dit rapport hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het verwerken van de in dit rapport vervatte gegevens; deze gegevens geven de stand van de techniek op het moment van uitgifte weer. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat onjuistheden in het rapport voorkomen. Degene die van dit rapport gebruik maakt, aanvaardt daarvoor het risico. De stichting sluit iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit (onoordeelkundig) gebruik van deze gegevens.

Literatuur

- ¹ Stichting Bouwkwiteit, Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken – Berekeningswijze voor het bepalen van de milieuprestatie van gebouwen en GWW-werken gedurende hun gehele levensduur, gebaseerd op de EN 15804 Versie 3.0 – Rijswijk januari 2019
- ² Online: <https://www.gprsoftware.nl/gpr-bouwbesluit/>
- ³ Online: <https://www.dgbc.nl/dgbc-materialentool-voor-milieuprestatieberekening-67>
- ⁴ Online: <https://mpgcalc.nl/>
- ⁵ Online: <http://www.mrpi-mpg.nl/Home/Home>
- ⁶ J.P. den Hollander e.a., Hallen – Kenmerken en constructiesystemen van stalen hallen en het ontwerp van een eenbeukige geschoorde hal volgens Eurocode 3, Zoetermeer 2019
- ⁷ Online: https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012_nvt/artikelsgewijs/hfd5/afd5-1/art5-5
- ⁸ David Anink, Onderzoek 'Bepaling kwaliteitsniveaus milieuprestatie van woonfuncties' – Eindrapport, Utrecht 14-11-2014
- ⁹ David Anink, Onderzoek 'Principes en parameters Milieuprestatie Gebouwen (MPG)' , Utrecht 24-2-2017
- ¹⁰ J.M. Sipma, Nieuwe benchmark energieverbruik utiliteitsgebouwen en industriële sectoren, ECN, Petten 2016.
- ¹¹ Online: <https://www.bespaarbazaar.nl/kenniscentrum/zonnepanelen/financieel/zonnepanelen-opbrengst/>
- ¹² Online: <https://vdrbouwgroep.nl/nieuws/aviko-luchtdichtheid/>
- ¹³ Online: <https://vdrbouwgroep.nl/nieuws/aviko-luchtdichtheid/>