

Documentatie Rekenkern & Standaardinputs

Gebouwsimulatie & Warmteberekening

Orange Climate

15 juli 2026

Orange Climate

Dit document beschrijft de **rekenkern** van de OC Gebouwsimulatie, alle **invoer** (inclusief standaardwaarden) en de **uitvoer**. De hoofdstukindeling volgt de volgorde van de invoerblokken in de gebruikersinterface: eerst het tekenen van het gebouw, daarna de eigenschappen van het gebouw, beglazing en zonwering, ventilatie, verwarmen en koelen, energiesturing en Active House, de resultaten, en tot slot het programmeerbare **API**-koppelvlak (hoofdstuk 10). Drie bijlagen bevatten de technische verdieping: het matrix-model, de opbouw van thermische zones en de stappen in het rekenmodel (bijlage A), de mapping naar ISO-51/53 (bijlage B) en het complete overzicht van inputs en standaardwaarden (bijlage C).

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	De rekenkern in het kort	4
1.2	Statisch versus dynamisch rekenen	4
1.3	Normen en praktijk	4
1.4	Tijdstappen	5
1.5	Revisiehistorie	5
1.6	Disclaimer	6
2	Het gebouw tekenen	6
2.1	Verdiepingen	6
2.2	Thermische zones per verdieping	6
2.3	Glaspercentages per gevel	7
2.4	Buitenmuurdetectie en muurgrenstypen	7
2.5	Plattegrond importeren	7
2.6	3D BAG import	7
2.7	Locatie en klimaat	7
2.8	Bomen en schaduwvlakken	8
2.9	Overige plattegrond-elementen	10
3	Eigenschappen gebouw	10
3.1	Gebouwfunctie	10
3.2	Isolatieprofielen	10
3.3	Infiltratie	11
3.4	Gebruiksgedrag	11
3.5	Gevelopbouw en warmtedoorslag	12
3.6	Gevel-vloer warmtedoorslag ($\psi \cdot L$)	12
3.7	Daktype	12

3.8	Dakbedekking en warmtedoorslag dak	13
3.9	Bezettingsprofielen	14
3.10	Omgeving en stedelijke oververhitting	15
3.11	Weerdatasets	15
4	Beglazing, zonwering en ramen open	15
4.1	Beglazingstypen (ZTA-profielen)	15
4.2	Zonwering buiten per windrichting	15
4.3	Zonweringsturing: standaard en slim	16
4.4	Ramen open	16
5	Ventilatie	17
5.1	Ventilatiesysteem en basisparameters	17
5.2	Warmteterugwinning (WTW)	17
5.3	Ventilatiesturing	18
5.4	Zomernachtventilatie en boost	18
5.5	Ventilatie-spoel en temperatuursturing	18
5.6	CO ₂ -concentratie binnen	19
6	Verwarmen en koelen	19
6.1	Klimaatssystemen	19
6.2	Klimaatsturing	20
6.3	Vermogensgrenzen en SCOP	20
6.4	Dynamische COP	20
6.5	Hulpenergie	21
6.6	Tapwater (woning)	21
7	Energiesturing	21
7.1	Zon-PV	21
7.2	Batterij	21
7.3	EV laden	22
7.4	Warmtepomp-energiesturing	22
7.5	Volgorde en netbelasting	22
7.6	Apparatuur en verlichting	23
8	Active House	23
9	Resultaten	23
9.1	Resultatentabel	23
9.2	ISSO-51 en ISSO-53 warmteverlies	24
9.3	Visualisatie energiestromen	24
9.4	Energie- en warmtebalans (Sankey)	24
9.5	ATG-grafiek	25
9.6	Belastingduurkromme	25
9.7	Overige visualisaties	25
9.8	Prestatieparameters	25
9.9	ATG-comfortformules	25
10	API	26
10.1	Architectuur	26
10.2	OpenAPI-specificatie	26
10.3	Belangrijkste endpoints	26
10.4	Operationele randvoorwaarden	27
10.5	API-documentatie (PDF)	27

A	Matrix-model energiestromen en thermische zones	28
A.1	Enkel-zone RC-model	28
A.2	Multi-zone opbouw	28
A.3	Warmtestroomsysteem-grafiek	28
A.4	Stappen in het rekenmodel	28
A.4.1	Initialisatie (eenmalig)	29
A.4.2	Uur-loop	29
A.4.3	Sub-stap-loop	29
A.4.4	Na de simulatie	29
B	ISSO-51 en ISSO-53 mapping	30
B.1	Verwerkingsketen	30
B.2	Normkeuze en locatie	30
B.3	Mapping naar ISSO-51	30
B.3.1	Gebouw- en klimaatniveau	31
B.3.2	Constructies en muurgrenstypen	31
B.3.3	Infiltratie, ventilatie en verwerking	31
B.3.4	Uitvoer ISSO-51	31
B.4	Mapping naar ISSO-53	32
B.4.1	Gebouwniveau	32
B.4.2	Infiltratie ISSO-53	32
B.4.3	Ruimten en multi-zone	33
B.4.4	Constructies ISSO-53	33
B.4.5	Ventilatie ISSO-53	33
B.4.6	Verwerking en uitvoer ISSO-53	33
B.5	Ontwerp-buitentemperatuur θ_e	33
B.6	Parameterherkomst in de tekentool	34
B.7	Validatie, foutafhandeling en vergelijking	34
C	Alle inputs en standaardwaarden	35
C.1	Verplichte en kern-parameters	35
C.2	Optionele parameters (selectie)	35

1 Inleiding

1.1 De rekenkern in het kort

De applicatie combineert een **tekentool** (gebouwindeling, oppervlakten, oriëntaties) met een **warmteberekeningsservice**. De rekenkern is een dynamisch warmtebalansmodel dat per tijdstap van 5 minuten de thermische balans van één of meer zones oplost. Per tijdstap worden alle warmtestromen — transmissie door constructies, ventilatie en infiltratie, zonwinst door beglazing, interne warmtelasten en de bijdrage van verwarming en koeling — samengebracht in een stelsel van knooppuntvergelijkingen (zie bijlage A) en opgelost. Zo ontstaat een jaarreeks van 8760×12 tijdstappen waaruit alle resultaten worden afgeleid: energievraag verwarming en koeling, GTO (gewogen temperatuuroverschrijding), klimaatklasse (ISO 7730), CO₂-concentratie binnen, ventilatie-energie, netbelasting en per-uur reeksen voor onder andere binnentemperatuur en vermogen.

1.2 Statisch versus dynamisch rekenen

Bij gebouwberekeningen worden twee families van methoden gebruikt, die elkaar aanvullen maar wezenlijk verschillende vragen beantwoorden:

- **Statische (norm)berekeningen** zoals de warmteverliesberekening volgens ISSO-51 (woningen) en ISSO-53 (utiliteit) rekenen met één stationaire ontwerpconditie: een vaste ontwerp-buitentemperatuur, vaste binnentemperaturen per ruimte en geen zon- of interne winsten. Het resultaat is een *ontwerpvermogen*: het vermogen dat de installatie moet kunnen leveren om onder de zwaarst aangenomen omstandigheden de gewenste binnentemperatuur te halen. Traagheid van het gebouw wordt slechts forfaitair meegenomen (bijvoorbeeld via een opwarmtoeslag).
- **Dynamische simulatie** rekent het gebouwgedrag uur voor uur (hier zelfs per 5 minuten) door over een volledig jaar met werkelijke of normatieve weerdata. Thermische massa, zonwinst, bezettingspatronen, regelgedrag van installaties, nachtventilatie en warmteterugwinning worden expliciet in de tijd gevolgd. Het resultaat is geen enkel ontwerppunt maar een *gedragsbeeld*: jaarenergiegebruik, comfortstatistieken (GTO, ATG, klimaatklassen), piek- en percentielvermogens, CO₂-verloop en de interactie tussen deelsystemen (bijvoorbeeld PV, batterij en warmtepomp).

Beide gezichtspunten zijn in deze applicatie beschikbaar: de dynamische simulatie is de kern, en voor Nederlandse projecten wordt daarnaast automatisch de statische ISSO-51- of ISSO-53-warmteverliesberekening uitgevoerd op basis van dezelfde invoer (zie hoofdstuk 9 en bijlage B). Kenmerkende verschillen die in de resultaten zichtbaar worden: het statische ontwerpvermogen is doorgaans hoger dan het dynamische piekvermogen (de dynamische berekening profiteert van massa, interne winsten en zon), terwijl de dynamische berekening juist comfortrisico's laat zien die een statische berekening niet kent (oververhitting in de zomer, CO₂-opbouw bij krappe ventilatie).

1.3 Normen en praktijk

Normatieve rekenmethoden zijn bewust conservatief en gestandaardiseerd: zij garanderen vergelijkbaarheid en een veilige installatiekeuze, maar zeggen weinig over het werkelijke jaarlijkse gedrag van een gebouw. In de praktijk wordt het energiegebruik en het comfort gedomineerd door zaken die buiten de statische norm vallen: het werkelijke stookgedrag en de kloktijden, de bezettingsgraad, het openen van ramen en deuren, de regelstrategie van de installatie, en het weer van een specifiek jaar. De dynamische rekenkern probeert dit praktijkgedrag expliciet te modelleren, onder andere via:

- **bezettingsprofielen** met aparte dag-/nacht- en weekendregimes (§3.9);
- **gebruiksgedrag**-parameters die extra infiltratie door open deuren en ramen en variatie in bezettingsgraad modelleren (§3.4);
- **raamopening door bewoners** bij warmte (§4.4) en **zonweringsgedrag** (§4.3);

- **regelgedrag van installaties:** thermostaatvensters, setbacks, CO₂-gestuurde ventilatie en warmtepompkarakteristieken (hoofdstukken 5 en 6).

Waar normen expliciete rekenregels geven (ISO 7730 comfortklassen, EN 16798 / ISSO 74 adaptieve comfortgrenzen, NTA 8800-forfaits voor hulpenergie, ISSO-98 voor tapwateropslag) volgen de betreffende modules die regels; dit staat per onderwerp in de hoofdstukken vermeld. De vergelijking tussen norm-uitkomst en simulatie-uitkomst (bijvoorbeeld ISSO-warmteverlies naast dynamisch piekvermogen) is een bewust onderdeel van de resultatenweergave.

1.4 Tijdstappen

Het model werkt met een **uur-loop** over 8760 uren en per uur een **sub-stap-loop** van 12 stappen van 5 minuten ($\Delta t = 300$ s). De manier van rekenen is gebaseerd op **eindige differenties in de tijd**: in elke sub-stap worden de warmtestromen in een 6×6-stelsel opgelost en worden de temperaturen in de constructielagen (wand, plafond, vloer, eventueel PCM) expliciet bijgewerkt, met een stabiele CFL-voorwaarde voor de constructiesegmenten. Weerdata is beschikbaar op uurbasis (8760 waarden); via weerdata-interpolatie (standaard `mvp`) worden buitentemperatuur en windsnelheid lineair geïnterpoleerd naar de 5-minuten-substappen, terwijl de zonnestraling per uur constant blijft (budgetbehoud). Uit de sub-stappen worden per uur gemiddelden en totalen afgeleid; jaartotalen, statistieken en grafiekreeksen volgen daaruit. De volledige stappenvolgorde staat in bijlage A (§A.4).

1.5 Revisiehistorie

Elke productie-deploy naar de BertInteco-omgeving verhoogt het **subversienummer** (bijv. 1.18 → 1.19). Een **major release** (bijv. 2.0) wordt handmatig vastgelegd via de OC-services admin of een expliciete release-actie. De tabel hieronder wordt automatisch gegenereerd uit de centrale changelog; de Nederlandse tekst is leidend in deze PDF.

Versie	Datum	Wijziging
1.19	2026-07-04	Toegevoegd: ISSO-53 voor utiliteit
1.18	2026-05-20	Revisiebeheer: centrale changelog, automatische subversie bij deploy en meertalige weergave in

Over dit versiebeheer.

- **Commit en datum:** elke regel koppelt een versie aan een datum; CI-deploys registreren de git-commit.
- **Meertalig:** samenvattingen zijn in het Nederlands, Duits en Engels beschikbaar in de web-UI; vertalingen worden in de admin beheerd.
- **Categorie:** wijzigingen zijn getypeerd (fix, feature, breaking, docs, internal) voor filtering in de UI.
- **Skip-tags:** commits met `[skip changelog]` of `[skip version]` veroorzaken geen automatische subversie-stap.
- **Breaking changes:** expliciet gemarkeerd; controleer payload- en schemaversies bij major releases.
- **Compatibiliteit:** opgeslagen projecten kunnen een minimale app-versie vereisen; zie de changelog in de tekentool.
- **Omgeving:** in development wordt naast het versienummer vaak een commit-hash getoond.
- **Rollback:** deploy een eerdere wheel en leg een rollback-entry vast in de changelog.

1.6 Disclaimer

De OC Gebouwsimulatie is een **ontwerp- en vergelijkingsinstrument**. De resultaten zijn indicatieve simulatie-uitkomsten op basis van de ingevoerde geometrie, eigenschappen en gebruiksaannames, en van de gekozen (norm)weerdaset. Zij vormen geen gecertificeerde energieprestatieberekening (zoals NTA 8800/BENG) en geen vervanging van een projectspecifieke installatie-ontwerpberekening door een adviseur. De meegeleverde ISSO-51/53-berekening volgt de betreffende normmethodiek op basis van een geautomatiseerde mapping van de simulatie-invoer (bijlage B); controleer bij contractuele toepassing altijd de invoer en randvoorwaarden. De kwaliteit van de uitkomsten is direct afhankelijk van de kwaliteit van de invoer (oppervlakten, Rc-waarden, bezetting, installatiekeuzes). Aan de uitkomsten kunnen geen rechten worden ontleend; Orange Climate aanvaardt geen aansprakelijkheid voor beslissingen die uitsluitend op deze uitkomsten worden gebaseerd. De Active House-radar (hoofdstuk 8) is geïnspireerd op de Active House Specifications maar is nadrukkelijk *geen* officiële certificering.

2 Het gebouw tekenen

Het startpunt van elke berekening is de getekende plattegrond. De tekentool leidt uit de tekening alle geometrische invoer af: gebruiksoppervlakte (GBO), gebouwvolume, buitenmuur- en glasoppervlakten per windrichting, dak- en vloeroppervlakten en de verdeling over verdiepingen. Dit hoofdstuk beschrijft de tekenfuncties in de volgorde waarin een gebruiker ze doorgaans gebruikt.

2.1 Verdiepingen

Boven het tekenvlak staan **verdiepingstabs**; met de knoppen *verdieping toevoegen* (onder of boven) wordt het gebouw gestapeld. Per verdieping gelden:

- **Verdiepinghoogte** (standaard 3,0 m): bepaalt samen met de plattegrond het volume en de gevelhoogte, en daarmee muur- en glasoppervlakten.
- **Transmissie dak** en **Transmissie vloer** (aan/uit): voor de bovenste verdieping stuurt *transmissie dak* de warmtestroom door het dak naar buiten; voor de onderste verdieping stuurt *transmissie vloer* de warmtestroom door de vloer naar de grond. Staat transmissie voor een vlak uit, dan rekent het model voor dat vlak met een effectief zeer hoge weerstand ($10\,000\text{ m}^2\text{ K/W}$), zodat het warmteverlies via dat vlak wordt uitgeschakeld — bijvoorbeeld omdat boven of onder een verwarmde buurruimte ligt.
- **Eigen plattegrond**: elke verdieping heeft een eigen contour. Verspringende verdiepingen leveren automatisch dak- respectievelijk vloervlakken op de overgangen.

2.2 Thermische zones per verdieping

Bij één verdieping rekent het model als **één zone**. Bij meerdere verdiepingen wordt elke verdieping automatisch een eigen **thermische zone** (`thermal_zones[]` in de payload). De zones zijn thermisch gekoppeld via de tussenvloeren (eindige-differentie-slab tussen vloer van de bovenzone en plafond van de onderzone) en delen één ventilatiesysteem en één opwekker; zie bijlage A voor de modelopbouw. In de gebruikersinterface geldt:

- Installatiekeuzes (klimaatstelsel, klimaatsturing, ventilatie) blijven **gebouwbreed**; alleen **setpoints** en **ramen te openen** kunnen per verdieping worden overschreven (blok *Klimaat per verdieping*).
- Gebouwbrede parameters zoals ventilatiedebiet en bezetting worden over de zones verdeeld naar **GBO-aandeel**.
- Een **open trapgat** (plattegrond-element) koppelt twee zones extra via lucht-uitwisseling en straling over de opening; het trapgat-oppervlak wordt van de GBO van de bovenliggende verdieping afgetrokken.

- Bij klimaatsysteem *all-air* kiest **stuurverdieping** welke verdieping de regeling voedt, of wordt met *samenstelling* gewogen_lucht de GBO-gewogen luchttemperatuur gebruikt.

2.3 Glaspercentages per gevel

Per verdieping worden **glaspercentages** per windrichting ingevoerd (noord, oost, zuid, west; standaard 30 % per richting). De tekentool toont live de resulterende glas-m² per richting. In de payload worden de percentages omgerekend naar ramen-zuiden/-oosten/-westen; het noordelijke aandeel volgt als restant tot 100 %. De rekenkern werkt per windrichting: zoninstraling, zonwering en schaduw worden per gevelrichting bepaald en gewogen met het glasaandeel op die richting (§4). Glas in hellende dakvlakken en lichtkoepels (§2.9) telt mee in het glasoppervlak van de bijbehorende oriëntatie.

2.4 Buitenmuurdetectie en muurgrenstypen

De tekentool bepaalt automatisch welke muursegmenten **buitenmuur** zijn. Met het grenstype-gereedschap kan per muursegment het grenstype worden ingesteld; klikken doorloopt de cyclus:

1. **buitenlucht** (outdoor) — normale buitengevel: transmissie naar buitentemperatuur, zonbelasting, infiltratie;
2. **onverwarmde buur** (unheated_adjacent) — grens aan een onverwarmde aangrenzende ruimte: gedempte transmissie, geen zon en geen infiltratie op dit deel;
3. **verwarmde buur** (heated_adjacent) — grens aan een verwarmd buurpand: vrijwel geen transmissieverlies (buurtemperatuur, standaard 20 °C, instelbaar via buur-verwarmd-temperatuur).

De grenstypen worden per segment opgeslagen (wallBoundaries) en bepalen de opsplitsing van muur- en glasoppervlak in oppervlak-muur-buitenlucht, -onverwarmd-buur en -verwarmd-buur (idem voor glas). Deze opsplitsing werkt door in de dynamische simulatie én in de ISSO-51/53-mapping (bijlage B). Het buitenlucht-aandeel (muur + glas) is tevens het gevel-oppervlak waarover de infiltratie wordt berekend (§3.3).

2.5 Plattegrond importeren

De tekentool ondersteunt het importeren van een **plattegrond-onderlegger** (afbeelding). Daarbij kan eerst een schaal worden gezet via referentiepunten; daarna kan de tekening worden gecentreerd en als ondergrond voor het overtrekken worden gebruikt (dekking instelbaar). Voor eenvoudige gevallen is er een eerste automatische **buitenmuurdetectie**. Deze detectie is nadrukkelijk een *hulpfunctie*: lijnqualiteit, contrast, rasterafbeeldingen en samengestelde bouwkundige details bepalen sterk hoe bruikbaar het resultaat is. Handmatige controle en correctie van contouren, grenstypen en glaspercentages blijven nodig voordat de berekening betrouwbaar is.

2.6 3D BAG import

Via **3D BAG** kan op adres een pand uit de BAG worden opgehaald; de voetafdruk en bouwlagen worden overgenomen als plattegrond. Opties (standaard aan): automatisch daktype, automatische bezetting en detectie van muurgrenstypen. Na toepassing wordt het **isolatieprofiel** afgeleid van het BAG-bouwjaar: vóór 1975 *zwak*; 1975–1995 *typisch*; 1996–2014 *verbeterd*; vanaf 2015 *bouwbesluit*; onbekend *typisch* (zie §3.2).

2.7 Locatie en klimaat

Naast een vaste **weer-dataset** (zie §3.11) kan een **locatie** met coördinaten worden gekozen. Klimaatinladen en berekening zijn **gescheiden**: bij locatie- of datasetwijziging roept de UI eerst `POST /api/weer/load` aan (eigen timeout, default 120 s). Dat endpoint laadt een ingebouwd bestand (bijv. NEN5060), een lokale EPW-cache of een **online EPW-klimaatbestand** voor het dichtstbijzijnde station en retourneert een

weer_load_key. Pas daarna start POST /api/model met die sleutel (alleen jaarsimulatie, default-timeout 480 s). Andere parameterwijzigingen (Rc, ventilatie, bezetting, ...) hergebruiken dezelfde sleutel: klimaat-laden wordt overgeslagen. Lukt online EPW niet, dan valt de backend automatisch terug op de ingebouwde klimaatdataset die het best past bij de gekozen locatie.

In de resultaten wordt vastgelegd *welk* klimaat uiteindelijk is gebruikt: weer_dataset_used, optioneel epw_filename en epw_link, en de vlag locatie_klimaat_toegepast. Bij wijzigingen aan Rc, ventilatie of bezetting (zonder locatie/datasetwijziging) wordt het klimaat hergebruikt; de model-request blijft daardoor kleiner en voorspelbaarder. Als wel een plaatsnaam maar geen geldige locatiekeuze is meegestuurd, geeft de API een waarschuwing terug zodat zichtbaar blijft dat de simulatie op de handmatig gekozen dataset is blijven draaien. De locatie bepaalt daarnaast of de ISSO-51/53-berekening wordt uitgevoerd (alleen binnen Nederland; bijlage B) en levert de breedte- en lengtegraad voor de zonnestandberekening.

2.8 Bomen en schaduwvlakken

Op elke verdieping kunnen naast het gebouwcontour **plattegrond-elementen** worden geplaatst. Voor schaduw zijn dat:

- **Boom** (type: tree): positie (x, y), **kroonradius** [m] (standaard 2), **hoogte** [m] (vooral 3D-weergave), en een **bladprofiel** (foliageProfile).
- **Schaduwvlak** (type: shadow_plane): een lijnsegment dat een vast obstakel op één gevelrichting simuleert (bijv. aangrenzend gebouw of overstek), met hoogte (standaard 3 m).

Deze elementen wijzigen geen oppervlakten of Rc-waarden; zij verlagen de **zoninstraling per windrichting** die de rekenkern gebruikt. De tekentool berekent daaruit schaduwfactoren en stuurt die mee als zon-schaduw-factor-noord/oost/zuid/west en zon-schaduw-factor-dak (eventueel als uurreeksen van 8760 waarden).

Toewijzing aan een gevel. Het gebouwmiddelpunt (gemiddelde van alle plattegrondpunten) wordt als referentie gebruikt. De richting van het middelpunt naar de boom (of naar de normaal van het schaduwvlak) wordt gekoppeld aan één windrichting: noord, oost, zuid of west. Meerdere bomen of schaduwvlakken op dezelfde zijde **vermenigvuldigen** hun effect.

Geometrische schaduw (boom). Voor elke boom geldt een vereenvoudigde geometrische reductie op basis van kroonradius R_c [m] en afstand d [m] tot het gebouwmiddelpunt:

$$s = \min\left(0,12; \frac{R_c}{d + R_c + 2}\right), \quad f_{\text{geo}} = \max(0,75; 1 - s).$$

Hierin is f_{geo} de transmissie door de kroon in “vol zomerblad” (1 = geen schaduw, 0,75 = minimaal 25% reductie door geometrie alleen). De boomhoogte en de zonpositie per uur worden *niet* gebruikt: schaduw volgt de plattegrondrichting, niet de werkelijke zonhoogte.

Seizoensprofiel bladdek. Het bladprofiel modificeert f_{geo} per simulatie-uur j via een effectief bladdek $L_{\text{eff}}(\text{dag})$:

$$f_{\text{uur}}(j) = 1 - (1 - f_{\text{geo}}) L_{\text{eff}}(\text{dag}(j)).$$

Profielen (keuze in de UI):

Profiel	Gedrag
jaarrond (year_round)	Vol blad het hele jaar; alleen f_{geo} , geen uurlijnen.
groenblijvend (evergreen)	Lichte seizoenswissel ($L_{\text{eff}} \approx 0,88-1$).
lang bladverlies (deciduous_long)	Bladloos nov.–feb.; vol blad mei–okt.
kort bladverlies (deciduous_short)	Bladloos dec.–mrt.; vol blad mei–aug.

Bij profielen met seizoenswissel worden vier uurreeksen zon-schaduw-factor-**-hourly meegestuurd; de rekenkern schakelt dan per uur (zon_schaduw_use_hourly). De schaduwfactoren worden in de teken-tool berekend en door de warmteberekening per uur toegepast.

Schaduwvlak. Een schaduwvlak vermindert de zoninstraling op de gekoppelde windrichting met een vaste factor 0,88 (12% reductie), onafhankelijk van het seizoen.

Doorwerking op gevel en energievraag. In de uur-loop wordt de berekende straling per oriëntatie I_r [W/m^2] vermenigvuldigd met de schaduwfactor f_r (of $f_r(j)$ bij uurlijnen):

$$I_r^{\text{eff}} = f_r \cdot I_r^{\text{onbeschaduwd}}.$$

Dit werkt door op:

- **Zonwinst door beglazing** (q_{wo} , q_w , q_{ai} , q_{wi}): minder warmte binnen via ramen aan de beschaduwde zijde.
- **Opaak geveloppervlak:** lagere instraling op de buitenmuur $\Rightarrow$ lagere $T_{\text{out,wall}}$ en minder stralings-gerelateerde warmtestroom.
- **Horizontaal dak / aanzuig op dak:** factor zon-schaduw-factor-dak = minimum van de vier gevelrichtingen (conservatief).
- **PV-opbrengst** (indien PV-elementen in de plattegrond): zelfde schaduwfactoren per oriëntatie.
- **Stedelijke oververhitting:** de gewogen zoninstraling $Zon_{instraling}$ daalt mee $\Rightarrow$ iets minder $\Delta T_{\text{stedelijk}}$ bij veel schaduw.

Koelvraag daalt typisch in de zomer (minder zonwinst); **verwarmingsvraag** kan in de winter iets dalen bij loofbomen (meer zon bij bladverlies) of nauwelijks veranderen bij jaarrond blad. Het effect blijft beperkt door het vereenvoudigde model (geen echte schaduwgeometrie, geen oversteken of aangrenzende bouwmassa tenzij als schaduwvlak getekend).

Zoninstraling en schaduw: drie kernvragen. De onderstaande antwoorden beschrijven exact wat het model doet (niet wat een fysische ray-tracer zou doen).

Wordt de zoninstraling per raam bepaald? Nee. De rekenkern werkt met **vier gevelrichtingen** (noord, oost, zuid, west) en een horizontale component (dak). Per richting wordt de onbeschaduwde instraling $I_r^{\text{onbeschaduwd}}$ berekend met `straling_func` (verticaal vlak, vaste γ per windrichting). Alle ramen op dezelfde zijde delen diezelfde I_r . Het plattegrondglas wordt geaggregeerd naar glaspercentages (ramen-zuiden/oosten/west/noord = restant tot 100 %); individuele raamcontouren krijgen geen eigen instraling of schaduw. Dakramen tellen mee in het glasoppervlak van hun oriëntatie (of horizontaal bij plat dak), maar ook daar geldt één straling per richting.

Hoe wordt de reductie op zoninstraling per uur per raam bepaald? Ook hier: **niet per raam, maar per gevelrichting**. Bomen en schaduwvlakken worden via het gebouwmiddelpunt aan één richting $r \in \{N, O, Z, W\}$ gekoppeld. Per boom/vlak ontstaat een transmissiefactor; meerdere elementen op dezelfde zijde **vermenigvuldigen** hun effect tot $f_r(j)$ voor simulatie-uur j (index 0–8759). Voor bomen: eerst geometrie f_{geo} (kroonradius en afstand), daarna seizoensmodulatie $L_{\text{eff}}(\text{dag}) \Rightarrow f_{\text{uur}}(j) = 1 - (1 - f_{\text{geo}}) L_{\text{eff}}$. Voor schaduwvlakken: vaste factor 0,88. In de uur-loop: $I_r^{\text{eff}}(j) = f_r(j) \cdot I_r^{\text{onbeschaduwd}}(j)$; zonwinst q_{wo} , q_w , q_{ai} , q_{wi} weegt per richting met het glaspercentage op die zijde. Belangrijk: $f_r(j)$ hangt *niet* af van de werkelijke zonpositie binnen het uur—alleen van de plattegrondrichting en (bij loof) van de kalenderdag.

Is zoninstraling per uur bepaald voor elk uur van het jaar of voor één dag? Voor elk uur van het volledige simulatiejaar: **8760 uren**. De buitenlus loopt over $j_u = 0 \dots 8759$. Onbeschaduwde straling gebruikt

per uur de weerdata (globale horizontale straling $G_{\text{sol},g}$, dag-van-jaar N_{day} , uur t_k) en locatie (breedte-/lengtegraad) in `straling_func`—daardoor varieert $I_r^{\text{onbeschadwd}}$ *wel* met zonhoogte en seizoen binnen de dag. De schaduwreductie werkt anders: bij profiel `year_round` is f_r **één constante** voor het hele jaar (geen uurreeks); bij loof/groenblijvend worden **8760** waarden meegestuurd (`zon-schaduw-factor-*-hourly`), maar die variëren alleen met de **dag van het jaar**—binnen één kalenderdag is f_r voor alle 24 uren gelijk. Er is dus geen “representatieve dag” die 365 keer wordt herhaald; wel is schaduw door bomen geen echte uur-tot-uur zonhoekschaduw.

Beperkingen. Geen ray-tracing of schaduw per zonhoogte/azimut; geen koppeling tussen boomhoogte en gevelhoogte; geen instraling of schaduw per individueel raam. Schaduw door bomen varieert over het jaar alleen via het bladprofiel (per kalenderdag constant), niet per zonuur. Voor complexe omgevingsschaduw blijven handmatige `zon-schaduw-factor-*` in de API of schaduwvlakken een benadering.

2.9 Overige plattegrond-elementen

- **PV-panelen:** rechthoekige velden met kolommen $\times$ rijen modules, piekvermogen per module (standaard 410 Wp), lay-out *zuid* (helling 12°), *oost-west* (12°) of *oost-west* 45°, en rotatie. Uit deze elementen worden het totale kWp, de gemiddelde oriëntatie en de gemiddelde helling voor het PV-opbrengstmodel afgeleid (§7.1).
- **Lichtkoepel / daklicht:** breedte $\times$ hoogte, rotatie, glastype (standaard/HR/triple) en eventueel zonwering; telt mee in het thermisch glasoppervlak en de daglichtfactor.
- **Open trapgat:** opening tussen verdiepingen (breedte $\times$ hoogte, rotatie); activeert de extra zonekoppeling uit §2.2.
- **Noordpijl:** draait de oriëntatie van de plattegrond (`northAngleDeg`); alle windrichting-afhankelijke berekeningen (zon, wind, PV, schaduw) volgen deze noordrichting.

3 Eigenschappen gebouw

Dit hoofdstuk volgt het invoerblok **Gebouw** in de linkerkolom: gebouwfunctie, isolatie en infiltratie, gevelopbouw, dak, bezetting, omgeving en weerdata.

3.1 Gebouwfunctie

De **gebouwfunctie** (`gebouwfunctie`: woning, kantoor, school) stuurt twee dingen:

- de keuze van de statische warmteverliesnorm: **woning** $\rightarrow$ ISSO-51, **kantoor** en **school** $\rightarrow$ ISSO-53 (alleen binnen Nederland; zie bijlage B);
- de ISSO-invoervelden die onder de gebouwfunctie verschijnen: **gebouwpositie** (tussen/kop/vrijstaand, of automatisch uit de muurgrenstypen), **gebouwpositie meerlaags** (bovenste/onderste verdieping), **winddruktype**, **warmteopwekking per zone** (individueel/collectief/overig), **temperatuur verwarmde buur** en een optionele **override van de ontwerp-buitemperatuur**. Deze velden worden alleen in de ISSO-berekening gebruikt; de dynamische simulatie gebruikt de buurtemperatuur wél voor muren met grenstype *verwarmde buur*.

De gebouwfunctie staat los van het **bezettingsprofiel** (§3.9), al kiest de tekentool beide doorgaans consistent (woning/kantoor/onderwijs).

3.2 Isolatieprofielen

De tekentool kent voor **isolatieprofiel** vaste combinaties van Rc-waarden (muren, dak/plafond, vloer), U-glas en specifieke luchtinfiltratie q_i . Ze worden afgeleid in `tekentool/static/api.js` (functie `isolatieprofiel`); de warmteberekenings-UI gebruikt dezelfde cijfers.

Profiel (UI)	Sleutel	$R_{c,m}$	$R_{c,dak}^*$ (m ² K/W)	$R_{c,vl}^*$	U_{glas} W/(m ² K)	q_i dm ³ /(s m ²)
Zwak (voor ca. 1975)	bestaand_zwak	1,2	1,5	1,5	2,4	1,45
Typisch (ca. 1975–1995)	bestaand_typisch	2,0	2,0	2,0	1,8	1,1
Verbeterd (ca. 1995–2014)	bestaand_verbeterd	3,4	4,5	2,9	1,35	0,65
Bouwbesluit	besluit	4,7	6,3	3,7	1,2	0,4
Passief bouwen	passief	8,0	10,0	5,0	0,9	0,2
Aangepast (UI)	custom	—	—	—	—	—

Aangepast (custom). Geen vaste waardenreeks: de berekening gebruikt de ingevulde velden onder **geavanceerd** (rc-muur, rc-plafond, rc-vloer, u-glas, lucht-infiltratie, en bij multi-zone optioneel rc-tussenvloer). Lege velden vallen terug op dezelfde defaults als bouwbesluit. Bij handmatige wijziging van een geavanceerd veld zet de tekentool het dropdown-profiel automatisch op **Aangepast**.

Rc dak en Rc vloer (*). rc-plafond op de bovenste verdieping geldt voor het dak wanneer **transmissie dak** aan staat; rc-vloer op de begane grond voor de vloer wanneer **transmissie vloer** aan staat. Is er voor dat vlak geen transmissie naar buiten, dan gebruikt het model **10 000** m² K/W (effectief geen warmteverlies via dat oppervlak in deze vereenvoudiging).

Verder. Via **geavanceerd** kunnen numerieke velden ook bij een vast profiel worden overschreven; lege velden vallen terug op de profiel-defaults. Oude projecten met isolatie-profiel = bestaand worden gemapt op bestaand_typisch. Bij **3D BAG** wordt het profiel afgeleid van het BAG-bouwjaar (§2.6).

3.3 Infiltratie

Infiltratie is de ongewenste luchtuitwisseling door naden en kieren. De invoer is de specifieke infiltratie q_i [dm³/(s m²)] per m² *gevel*, uit het isolatieprofiel of handmatig (lucht-infiltratie). Het effectieve infiltratiedebiet per uur [m³/h] is:

$$V_{inf,u} = 3,6 \cdot (q_i + \Delta q_{gedrag}) \cdot A_{gevel} \cdot f_{wind}(v_u) \cdot f_{beschutting} \quad (1)$$

met:

- A_{gevel} : buitenmuur- plus glasoppervlak met grenstype *buitenlucht* (oppervlak-gevel-infiltratie-m2; fallback GBO als geen geveloppervlak bekend is);
- $f_{wind}(v) = \text{clip}(1 + 0,083(v - 4); 0,5; 2,0)$ met v de windsnelheid van dat uur [m/s];
- $f_{beschutting}$ uit de omgevingskeuze (§3.10): bos 0,4; groen 0,55; binnenstad 0,75; parkeerplaats/sneeuw 1,0;
- Δq_{gedrag} : gedragstoeslag uit §3.4 (0 als alle gedragsopties uit staan).

Infiltratielucht komt binnen op buitentemperatuur, zonder warmteterugwinning. In de warmtebalans wordt de infiltratie opgeteld bij de ventilatieconductantie (a_{12}); in de CO₂-massabalans telt hetzelfde debiet mee als verdunning.

3.4 Gebruiksgedrag

Het blok **Gebruiksgedrag** modelleert praktijkgedrag dat statische berekeningen niet kennen. Vier opties geven een extra infiltratiebijdrage Δq_{gedrag} [dm³/(s m²)], per optie instelbaar op *uit* / *laag* / *gemiddeld* / *hoog*:

Optie	Wanneer actief	Δq (laag/gem./hoog)	Interpretatie
School deuren	alleen begin- en einduur bezetting	0,12 / 0,28 / 0,50	piek bij binnenkomst en vertrek leerlingen
Woning raam	alle uren	0,08 / 0,20 / 0,45	permanent kiepraam of rooster open
Kantoor lek	tijdens bezetting	0,06 / 0,16 / 0,35	entree-/deurverkeer kantoor
Detailhandel deur	tijdens bezetting	0,10 / 0,24 / 0,48	winkeldeur (zwaarder dan kantoor)

De som van de bijdragen is begrensd op $2,0 \text{ dm}^3/(\text{s m}^2)$ en wordt vóór de windfactor bij q_i opgeteld.

Daarnaast bevat het blok:

- **Bezettingsgraad variatie** (gebruiksgedrag-bezetting-wisseling, standaard volgens opgave): laag = -50% personenwarmte (72 W/persoon) en -40% interne warmte apparatuur; drukker = $+30\%$ op beide.
- **Tapwater gedrag** (gebruiksgedrag-tapwater): schaalt het tapwatervolume (weinig $\times 0,5$; normaal $\times 1$; $2x \times 2$; $3x \times 3$); zie §6.6.

3.5 Gevelopbouw en warmtedoorslag

Naast R_c/U -waarden gebruikt het model voor muren ook gevelopbouwparameters ($R_{\text{isol_gevel}}$, drager-eigenschappen uit de **bouwwijze NTA8800**-tabel, categorieën licht t/m zwaar) op alle drie muurgrenzen: buitenlucht, onverwarmde buur en verwarmde buur. De bouwwijze bepaalt de massa en daarmee de traagheid van de constructie in het eindige-differentie-model; zij werkt ook door in de dakopbouw (§3.8) en in de ISSO-53-massaklasse (bijlage B).

Voor buitenmuren wordt zonbelasting op het opake geveloppervlak verwerkt via oppervlak-muur-opaak-* en gevel-zon-absorptie: de instraling per gevelrichting verhoogt de effectieve buitentemperatuur van de muur, waardoor het transmissieverlies overdag daalt en 's zomers warmte kan doorslaan naar binnen. In de uitvoer is hiervoor de extra uurreeks `temperatuur_binnenwand_gemiddeld` beschikbaar (en als grafiekserie te selecteren), die het effect van massa en zonbelasting op de binnenwandtemperatuur zichtbaar maakt.

3.6 Gevel-vloer warmtedoorslag ($\psi \cdot L$)

Voor randdetails tussen buitengevel en begane-grondvloer kan de tekentool twee extra invoeren meesturen: `gevel-vloer-koppel-psi` [W/mK] en `gevel-vloer-koppel-lengte-m` [m]. De ψ -waarde kan direct worden ingevuld of automatisch worden afgeleid uit bouwjaar (met override als de gebruiker expliciet invult). In de warmtebalans wordt dit verwerkt als extra lineaire transmissie:

$$Q_{\psi}(t) = \psi \cdot L \cdot (T_i(t) - T_{o1}(t))$$

naast de vlaktransmissie door muur, dak en vloer. Daarmee worden koudebrugverliezen aan de gevel-vloeraansluiting expliciet meegenomen.

3.7 Daktype

Op de **bovenste verdieping**, naast de plattegrond, kiest u onder *Dakparameters* een **daktype**: *plat dak* (standaard), *zadeldak*, *lessenaarsdak*, *schilddak*, *wolfsdak*, *mansardedak* of *tentdak*. De waarde hoort bij het hele gebouw en wordt vastgelegd als `dakType`; bij een simulatie-aanroep wordt zij meegestuurd als `dak-type`. Aanvullend zijn instelbaar: de **nokrichting** (langs de langste of de kortste zijde) en een optionele **dakzone over meerdere verdiepingen** (basisverdieping voor de footprint, overstek, aantal lagen, hellingshoek en aftophoogte tot een plat plateau).

Het daktype werkt op drie plaatsen door:

- **Geometrie / dakvlakken:** uit het daktype en de helling berekent de tekentool per dakvlak oppervlak, hellingshoek β en oriëntatie γ , en stuurt die mee als `dak-vlakken[]` (`{area_m2, beta_deg, gamma_deg}`). Deze vlakken bepalen de zonbelasting op het dak (§3.8): oppervlak-plafond (de footprint) blijft de basis voor de transmissie, terwijl oppervlak-dak-werkelijk-m2 (som van de werkelijke dakvlakken) de basis is voor zon op het dak en de membraantemperatuur. Glas in hellende dakvlakken telt mee in het glasoppervlak van de betreffende oriëntatie.
- **3D-weergave:** per buitenste plattegrond-polygoon wordt een axis-aligned bounding box bepaald en daarop een vereenvoudigde kap of een vlak dak getekend; bij een dakzone over meerdere lagen een getrunceerde kap. Dit is illustratief en volgt niet exact complexe grondplannen (L-vormen volgen de rechthoek rond de hull, geen overstek).
- **ISSO-53:** het daktype bepaalt mede de *buildingShape* (meerlaags, één laag met kap, één laag met plat dak) voor de winddrukverdeling (bijlage B).

Het thermische model rekent voor de *transmissie* met een vlak plafond (`rc-plafond` $\times$ footprint); de invloed van het daktype op warmtedoorslag loopt via de dakbedekking en de dakvlakken, zoals hieronder beschreven.

3.8 Dakbedekking en warmtedoorslag dak

Onder *Dakparameters* kiest u naast het daktype een **dakbedekking** (`dak-bedekking`). De bedekking beïnvloedt de zonabsorptie van het dakmembraan, de indicatieve membraantemperatuur, de temperatuur van de aanzuiglucht vóór de WTW (bij aanzuigpunt dak) en de traagheid van het plafond. De transmissie door het dak (route A hieronder) blijft lopen via `rc-plafond` en de dakopbouw uit de bouwwijze; de bedekking verandert de jaarlijkse verwarmings-kWh daardoor nauwelijks ($< 5\%$), maar wel de koellast en de daktemperatuur.

Vier routes in het model.

Route	Mechanisme	Rol van de bedekking
A — Transmissie	R_c -plafond, footprint	alleen via de <i>dakopbouw</i> (dikte/geleidbaarheid draagconstructie)
B — Aanzuig	inlaattemperatuur vóór WTW	ja, bij aanzuigpunt-ventilatie = dak
C — Daktemperatuur	membraan- T per uur (grafiek)	ja
D — Traagheid	plafondcapaciteit $\times$ <code>mass_factor</code>	ja

Bedekkingstypes. **Plat dak:** zwart bitumen (standaard; $\alpha \approx 0,90$), wit bitumen, EPDM donker, kunststof licht, grind/ballast, groendak. **Hellend dak:** dakpannen (standaard), **riet**, zink, leien, dakplaat metaal, groendak. Per type liggen zonabsorptie α , emissiviteit ε en massafactor vast in een vaste lookup-tabel. Riet combineert een relatief lage geleidbaarheid met een lichte constructie: het dempt de zonbelasting op het membraan maar voegt weinig massa toe; de isolatiewaarde zelf blijft via `rc-plafond` lopen en moet daar (in het profiel of via geavanceerd) worden meegenomen.

Dakopbouw uit de bouwwijze. De **draagconstructie** onder de bedekking volgt uit *bouwwijze-nta-tabel* $\rightarrow$ dak-opbouw: *hout* ($d = 0,12$ m, $\rho = 500$), *beton licht* ($0,18$ m, 2300) of *beton zwaar* ($0,24$ m, 2400). Dit bepaalt de dikte en massa van het plafond in het eindige-differentie-model en daarmee hoe snel warmte door het dak heen slaat (faseverschuiving en demping van de middagpiek).

Membraantemperatuur en warmtedoorslag. Per uur en per dakvlak (alleen bij dynamisch weer, $I \geq 20$ W/m²):

$$T_{\text{membraan}} = T_{o1} + \frac{\alpha \cdot I_{\text{eff}}}{h(v_{\text{wind}})} - \frac{q_{ET}}{h}$$

met h de windafhankelijke overgangscoëfficiënt en q_{ET} de verdampingskoeling (alleen groendak). Een donker membraan kan op zomerse dagen 30–50 K boven de luchttemperatuur uitkomen; die verhoogde buitentemperatuur drijft route A (extra warmtedoorslag door het dak, gedempt en vertraagd door de dak-opbouw). Route B gebruikt *niet* de volledige membraan- T als aanzuiglucht (zie hieronder). De grafiek **Daktemperatuur** toont de gewogen membraan- T (`per_hour.temperatuur_dak_membrane`). 's Nachts koelt het membraan via langgolvlige uitstraling (ε , bewolgingsgraad uit de weerdata) juist onder de luchttemperatuur af.

Groendak. Bij groendak rekent het model een licht substraat met neerslag en verdamping (ET):

- lage zonabsorptie ($\alpha \approx 0,35$) en hogere plafondmassa ($\text{mass_factor} \approx 1,4$);
- uurlijkse verdamping beperkt de membraantemperatuur (q_{ET} , max. ca. 40 W/m² potentieel, afhankelijk van dampdrukdeficit, instraling en wind);
- neerslag uit het gekozen uurklimaat (EPW) vult een vochtbucket ($S_{\text{max}} = 25$ mm substraatwater); bij voldoende vocht en warm weer treedt ET op.

Bij aanzuig op het dak (of gevel) geldt voor de **bulk aanzuiglucht** vóór WTW (verse buitenlucht, geen vermenging met afblaaslucht):

$$\Delta T_{\text{aanzuig}} = f_{\text{air}} \cdot \frac{\alpha \cdot I_{\text{eff}}}{h(v_{\text{wind}})} \cdot f_{\text{height}}(z_{\text{dak}}), \quad T_{\text{aanzuig}} = T_{o1} + \Delta T_{\text{aanzuig}},$$

met $f_{\text{air}} \approx 0,22$ (dak) of 0,15 (gevel): alleen een fractie van de membraan-opwarming komt via rooster en kort kanaal in de luchtstroom (typisch 1–4 K boven buiten bij lentezon, niet de volle membraan- ΔT). Zonder ET-af trek op route B. Optioneel: dak-pv-dekking-fractie (0–1) — PV-panelen beschaduwen het membraan ($T_{\text{dak}} =$ gewogen mix van blootgesteld en onder-PV).

3.9 Bezettingsprofielen

Het **bezettingsprofiel** (bezetting-profiel: woning, kantoor, onderwijs, custom) bepaalt de standaardwaarden voor personen, interne warmtelast, gebruikstijden, weekendregime en een aantal afgeleide keuzes (ventilatiesturing, ventilatiedebiet, SFP, EV-laadvenster, apparatuur/verlichting-tabellen). Het aparte tapwaterblok volgt de **gebouwfunctie** (§6.6). De afleiding gebeurt in de tekentool op basis van de GBO:

Parameter	Woning	Kantoor	Onderwijs
Personen overdag	$\lceil \text{GBO}/40 \rceil \times 0,5$	$\lceil \text{GBO}/30 \rceil$	$\lceil \text{GBO}/2,2 \rceil$
Personen buiten gebruikstijd	$\lceil \text{GBO}/40 \rceil$	0	0
Interne warmtelast dag [W]	$4 \times \text{GBO}$	$5 \times \text{GBO}$	$6 \times \text{GBO}$
Interne warmtelast nacht [W]	$1 \times \text{GBO}$	0	0
Begin–einduur bezetting	7–18	9–17	9–17
Weekend vrij	nee	ja	ja
Ventilatiesturing (payload-default)	constant tijdens en na	CO ₂	CO ₂
Auto-ventilatiedebiet [m ³ /h]	$\max(1,62 \text{ GBO}; 37,5)$	$\lceil \text{GBO}/30 \rceil \times 50$	$\lceil \text{GBO}/2,2 \rceil \times 30$
SFP-indicatie (mech.) [W/(m ³ /s)]	800	1300–1800	1000
Gelijktijdig verwarmen + koelen	uit	aan	aan
Tapwater-invoer	zichtbaar	verborgen	verborgen

Alle waarden zijn via **geavanceerd** te overschrijven (bezetting-personen, bezetting-personen-alt, bezetting-interne-opwekking, -alt, bezetting-beginuur, bezetting-einduur). In het model levert elke aanwezige persoon 72 W warmte; de interne warmtelast (apparatuur, verlichting) wordt daarbij opgeteld volgens het dag-/nachtregime. Bij bezetting-weekend-vrij vervalt de bezetting op 2 van elke 7 dagen; de comfortregeling en de ventilatie volgen dan het buiten-bezettingsregime. Het profiel custom rekent met een expliciet gekozen fallback-profiel voor de onderdelen die profielafhankelijk zijn (apparatuur/verlichting, EV).

3.10 Omgeving en stedelijke oververhitting

De keuze **Omgeving** (grondreflectie) combineert drie effecten:

- **grondreflectie** voor de zoninstraling op gevels: bos 0,15; groen 0,2 (standaard); binnenstad 0,4; parkeerplaats 0,6; sneeuw 0,8;
- **beschuttingsfactor** voor infiltratie (§3.3);
- **CO₂-offset** op de buitenconcentratie: bos 0; groen +10; binnenstad +50; parkeer +30; sneeuw 0 ppm.

Bij *binnenstad* (0,4) en *parkeerplaats zonder schaduw* (0,6) wordt bovendien de **stedelijke-oververhittingsformule** toegepast: als $T_{\text{buiten,base}} \geq 15$ °C dan

$$\Delta T_{\text{stedelijk}} = \min\left(4; 4 \cdot \frac{I}{1000} \cdot \min\left(1; \frac{T_{\text{buiten,base}} - 15}{15}\right)\right) \text{ [°C]},$$

met I de zoninstraling [W/m^2]; daarna $T_{o1} := T_{o1} + \Delta T_{\text{stedelijk}}$. Op piekmomenten loopt de buitentemperatuur zo tot 4 °C op. Bij bos, groen en sneeuw wordt deze correctie niet toegepast.

3.11 Weerdatasets

De ingebouwde uurreeksen (weer-dataset) omvatten o.a. NEN5060 (1 %, 5 %, energie), Amsterdam/TMYx, meteo-jaren De Bilt, UAE, Bonaire en Barcelona. **Toekomstscenario's NL**: `weer_knmi23_2050_ssp245_de_bilt`, `weer_knmi23_2050_ssp585_de_bilt` en `weer_knmi23_2085_ssp585_de_bilt` — verkennende morfing op NEN5060-energie (bron: KNMI Data Platform). Met `weerdata-dynamisch = false` rekt het model met een vaste buitentemperatuur `T-buiten-trans` (standaard −10 °C) zonder zon en wind — nuttig voor stationaire controlesommen. De optie `weerdata-interpolatie` (standaard `mvp`) verzacht uurovergangen door temperatuur en wind per 5 minuten te interpoleren (§1.4).

4 Beglazing, zonwering en ramen open

4.1 Beglazingstypen (ZTA-profielen)

De beglazing bepaalt hoeveel zonnewarmte en straling de zone binnenkomen. Het model kiest per type een vaste set coëfficiënten (A_1, A_2, A_3, D) voor zon- en warmtestraling:

Type	A_1	A_2	A_3	D
dubbel (ZTA 0,70)	0,13	0,10	0	0,62
driedubbel (0,62)	0,12	0,09	0,06	0,56
verlaagde_zta (0,44)	0,53	0,05	0	0,34
zonwering_binnen (0,46)	0,16	0,13	0,29	0,13
reflectief (0,28)	0,37	0,03	0	0,24

De U-waarde van het glas (u-glas) komt uit het isolatieprofiel of het geavanceerd-veld en bepaalt het transmissieverlies; de ZTA-coëfficiënten bepalen de zonwinst. De zonwinst ($q_{wo}, q_w, q_{ai}, q_{wi}$) wordt per oriëntatie berekend: voor elke windrichting geldt de fractie ramen (inclusief impliciet noord als restant van 100 % minus zuid/oost/west).

4.2 Zonwering buiten per windrichting

Met zonwering-buiten aan kan per **windrichting** (noord, oost, zuid, west) apart zonwering worden ingeschakeld (zonwering-noord/-oost/-zuid/-west). Wordt geen van deze richtingvlaggen meegestuurd, dan geldt het oude gedrag: alle richtingen volgen zonwering-buiten. Als de zonwering voor een richting *dicht* is, worden voor dat geveldeel de gereduceerde zonweringsfactoren gebruikt (0,38; 0,03; 0,01; 0,11) in plaats van de beglazingsfactoren; dit geldt binnen én buiten de gebruikperiode.

4.3 Zonweringsturing: standaard en slim

De buitenzonwering wordt per geveldeel geschakeld op basis van de **instraling per gevel** I_r [W/m²] en (optioneel) de **slimme zonwering**-modus (zonwering-slim). Voor elke windrichting r geldt: zonwering-buiten moet aan staan, de richting moet zijn ingeschakeld, en I_r bepaalt of het scherm sluit.

Standaard sturing. Zonder slimme zonwering wordt één vaste schakeldrempel gebruikt:

$$I_r > I_{\text{drempel,std}} = 150 \text{ W/m}^2.$$

Wordt deze voor een richting overschreden en is zonwering daar toegestaan, dan gaat de zonwering *dicht* voor dat geveldeel; anders blijft zij *open*.

Slimme zonwering. Met slimme zonwering hangt de drempel per tijdstap af van de binnentemperatuur T_i ten opzichte van de comfortband tussen verwarmingssetpoint T_m en koelsetpoint $T_{m,3}$:

$$I_{\text{drempel,slim}} = \begin{cases} 0,6 \cdot 150 = 90 \text{ W/m}^2, & \text{als } T_i \geq T_{m,3} \quad (\text{al te warm: eerder dicht}), \\ 1,8 \cdot 150 = 270 \text{ W/m}^2, & \text{als } T_i < T_m \quad (\text{thermisch nut van zon: later dicht}), \\ 150 \text{ W/m}^2, & \text{in alle overige gevallen.} \end{cases}$$

Samengevat: **standaard** zonwering sluit bij $I_r > 150 \text{ W/m}^2$ ongeacht de binnentemperatuur; **slimme** zonwering sluit *eerder* (vanaf 90 W/m²) als het binnen al op of boven het koelsetpoint zit, en *later* (pas boven 270 W/m²) als extra zonnearmte juist gewenst is.

4.4 Ramen open

De optie **Ramen te openen** (ramen-te-openen, standaard aan) modelleert het gedrag dat gebruikers bij warmte ramen openzetten. Het bijbehorende percentage **beglazing te openen** (ramen-te-openen-pct, standaard 20 %) is bij multi-zone per verdieping instelbaar en weegt de raamventilatie per zone. Raamventilatie treedt op als aan alle voorwaarden is voldaan:

- ramen te openen staat aan én er is **bezetting** (buiten gebruikstijden zijn de ramen dicht);
- er is **geen verwarmingsvraag**: het HVAC-stuursignaal van de vorige tijdstap ligt op of boven het verwarmsetpoint én er werd in die tijdstap niet verwarmd ($T_{\text{ctrl}} \geq T_{m,\text{eff}}$ en $P_{\text{verw}} \leq 1 \text{ W}$). Zo voorkomt het model dat ramen openstaan terwijl de luchttemperatuur al boven setpoint ligt maar de operationele temperatuur (koude vloer/plafond) nog verwarming vraagt;
- het is binnen te warm: $T_{\text{ctrl}} > T_{\text{drempel}}$ (stuursignaal vorige tijdstap) én $T_i \geq T_{m,\text{eff}}$, met T_{drempel} = verwarmingssetpoint of bij twee setpoints het gemiddelde van verwarmings- en koelsetpoint;
- buiten is niet te koud en koeler dan binnen: $T_{o1} \geq 8 \text{ °C}$ en $T_i > T_{o1}$.

Het raamdebiet groeit met het temperatuurverschil en wordt gedempt bij wind (tocht):

$$V_{\text{ramen}} = 0,20 \cdot A_{\text{GBO}} \cdot (T_i - T_{o1}) \cdot f_{\text{wind,ramen}} \cdot f_{\text{open}} \quad [\text{m}^3/\text{h}], \quad V_{\text{ramen}} \leq 6 \cdot A_{\text{GBO}} \cdot f_{\text{open}},$$

met $f_{\text{wind,ramen}} = 1$ bij $v \leq 2 \text{ m/s}$, lineair aflopend naar 0 bij $v \geq 8 \text{ m/s}$ ($f_{\text{open}} = \text{ramen-te-openen-pct}/100$). Raamlucht komt binnen *zonder* warmteterugwinning; de effectieve toevoertemperatuur van de ventilatie wordt debietgewogen gemengd uit de mechanische toevoer (na WTW) en de buitenlucht door de ramen. Het raamdebiet telt mee in de CO₂-massabalans. In de uitvoer staat het **gebouwtotaal** in `per_hour.ramen_debiet`; bij multi-zone ook per verdieping in `per_hour.multi_zone.zones[]`. In de energiestromen-visualisatie: één pijl per verdieping; het ventilatieblok toont het totaal.

5 Ventilatie

Dit hoofdstuk volgt het invoerblok **Ventilatie**. Het beschrijft het ventilatiesysteem, warmteterugwinning, debietregeling, CO₂-sturing, zomernachtventilatie en de optionele koel-/verwarmspoel in de ventilatieketen.

5.1 Ventilatiesysteem en basisparameters

- **Ventilatiesysteem** (ventilatie-systeem): *natuurlijk* (0) of *gebalanceerd* (1, standaard). Bij natuurlijke ventilatie zijn mechanisch debiet en WTW uit; alleen infiltratie en ramen dragen bij.
- **Ventilatiedebiet** (luchtdebiet-min, luchtdebiet-max [m³/h]): leeg in de UI $\Rightarrow$ automatisch ontwerpdebiet uit het bezettingsprofiel (§3.9). Het minimum is het basisdebiet; het maximum is het debiet bij volle CO₂- of vrije-koelingsvraag.
- **SFP** (sfp [W/(m³/s)]): Specific Fan Power; leeg $\Rightarrow$ profielafhankelijke placeholder (800–1800). Ventilatie-energie = SFP $\times$ (debiet/3600) per uur.
- **Ventilatie-effectiviteit** (ventilatie-effectiviteit): meng (0,6, standaard), verdringing (0,9) of vloer (1,0) — alleen voor de CO₂-massabalans, niet voor de thermische balans.
- **Aanzuigpunt** (aanzuigpunt-ventilatie, alleen gebalanceerd + WTW): *dak, noord, oost, zuid of west* (standaard dak). Bepaalt welke zoninstraling en dakbedekking de inlaattemperatuur vóór WTW beïnvloeden (§3.8).

5.2 Warmteterugwinning (WTW)

- **WTW-type** (wtw-type): geen (0), warmte (1, standaard), warmte_vocht (2).
- **Rendement** (wtw-rendement-min, wtw-rendement-max [0–100 %]): grenzen voor het effectieve rendement η_{WTW} ; standaard 0 / 87 %.
- **Koudeterugwinning** (koudeterugwinning): in de zomer ($T_{\text{buiten}} > T_{\text{binnen}}$) blijft warmteterugwinning actief indien aan; anders $\eta_{\text{eff}} = 0$ bij warme buitenlucht.
- **Recirculatie WTW buiten bezetting** (ventilatie-recirculatie-wtw-buiten-bezetting): buiten bezetting, bij WTW en mechanisch debiet > 0 , kan het rendement naar het maximum worden getrokken (hypothese: recirculatie met volle terugwinning). Geldt niet wanneer zomernachtventilatie de WTW uitschakelt.

Effectief rendement in de warmtebalans. In elke sub-stap geldt voor de ventilatieterm:

- **Winter** ($T_{o1} < T_i$): $\eta_{\text{eff}} = \eta_{\text{WTW}}$;
- **Zomer** ($T_{o1} > T_i$): koudeterugwinning alleen indien koudeterugwinning aan; anders $\eta_{\text{eff}} = 0$.

De conductantie is $a_{12} \propto V \cdot (1 - \eta_{\text{eff}}) \cdot \rho \cdot c_p$ (+ infiltratie en ramen). De toevoertemperatuur na WTW is $T_{\text{toevoer}} = T_{\text{inlaat}} + \eta_{\text{eff}}(T_i - T_{\text{inlaat}})$ (winter) of $T_{\text{inlaat}} - \eta_{\text{eff}}(T_{\text{inlaat}} - T_i)$ (zomer).

Vraaggestuurde bypass en debiet. Per sub-stap stuurt het model zowel η_{WTW} als het debiet V op basis van de thermische *vraag*, niet alleen op temperatuurverschil:

1. **Verwarmingsvraag:** als de zone in de vorige sub-stap verwarmingsvermogen leverde, of het stuur-sigitaal T_{ctrl} onder het verwarmingssetpoint $-0,3$ K ligt, dan heeft verwarmingsvraag prioriteit. Bij koude buitenlucht: bypass dicht (volle terugwinning). Bij warme buitenlucht ($T_{\text{buiten}} > T_{\text{binnen}}$): bypass open voor *vrije verwarming* via de ventilatieketen.
2. **Vrije koeling:** alleen als er geen verwarmingsvraag is én de hysteresetimer (1 uur na de laatste verwarmingsvraag) is verstreken. Debietboost en lagere toevoertemperatuur wanneer $T_{\text{ctrl}} \geq T_{\text{ref}} + 0,5$ K en buiten koeler is dan binnen.

3. **Isotherm/inblaas**: vast toevoerdoel; bypass volgt uit inversie van het doel binnen $[\eta_{\min}, \eta_{\max}]$.

Het percentage bypass in de uitvoer is $\text{bypass \%} = (1 - \eta_{\text{eff}}/\eta_{\text{max}}) \times 100$ (`per_hour.wtw_bypass_pct`), met η_{max} uit `wtw-rendement-max`. In de **energiestromen-visualisatie** worden η_{eff} , `vent_t_na_wtw_c` en bypass afgeleid uit de gekoppelde keten WTW→spoel (§5.5), niet los van het koel-/verwarmspoel.

5.3 Ventilatiesturing

De parameter **ventilatiesturing** bepaalt hoe het ventilatiedebiet en het ventilatie-energiegebruik worden berekend. Standaardwaarden vanuit het bezettingsprofiel: bij **woning** is de standaard *constant tijdens en na gebruikstijden*; bij **kantoor** en **onderwijs** is de payload-default *CO₂-sturing*.

- **Constant tijdens gebruikstijden (0)**: Debiet tussen min en max; buiten bezetting $V = 0$ tenzij ventilatie-buiten-bezetting aan. Energie lineair in debiet.
- **Constant tijdens en na gebruikstijden (1, UI-standaard)**: Debiet vast op minimum; ook buiten bezetting. Energie lineair in debiet.
- **CO₂-sturing (2)**: Debiet uit CO₂-feedback (vorige tijdstap) en open ramen. Voor *ventilatie-energie* per uur: effectief debiet met exponent $E \propto (V/V_{\text{max}})^{1,65}$.
- **CO₂ + temperatuur (3)**: Zelfde CO₂-pad. Overdag: bij gebouwbrede koelbehoefte en $T_{\text{buiten}} < T_{\text{ctrl,GBO}} - 2$ K krijgen zones met koelbehoefte $\max(V_{\text{CO}_2}, V_{\text{thermisch}})$; som $\leq 100\%$ van ontwerp-debiet. 's Avonds en 's nachts geen hybrid-doordraaien.

Exponentiële relatie energie–debiet. Bij CO₂-sturing wordt aangenomen dat 20 % lager debiet $\approx 30\%$ minder energie: schaling met $(V/V_{\text{max}})^{0,65}$, dus $E \propto (V/V_{\text{max}})^{1,65}$.

5.4 Zomernachtventilatie en boost

Zomernachtventilatie (zomernachtventilatie): bij warme dagen en koude nachten extra ventilatie voor afkoeling; WTW-rendement naar minimum. **Boost ventilatie bij vrije koeling** (boost-ventilatie-vrije-koeling): $V_{\text{max}} = 1,2 \times$ ontwerpdebiet bij vrije koeling. Tussen 23u en 05u kan bij boost + vrije koeling ook buiten bezetting maximaal geventileerd worden.

Nachtoverride bij CO₂-sturing + boost. Bij CO₂-sturing of CO₂+temperatuur en boost, tussen 23u en 05u: als in de afgelopen 24 u koeling is geleverd en vrije koeling mogelijk is, wordt voor de *ventilatie-energieberekening* het volledige boost-debiet gebruikt (override van het CO₂-effectieve debiet). Het thermische model ventileert dan ook op V_{max} .

5.5 Ventilatie-spoel en temperatuursturing

Het veldset **Ventilatie-spoel** modelleert een koel-/verwarmspoel in de luchtbehandelingskast:

- **Spoel modus** (ventilatie-spoel-modus): verwarmen, koelen of beide (standaard).
- **Temperatuursturing** (ventilatie-temperatuursturing): *retour* (standaard, vraaggestuurd rond retourtemperatuur), *isotherm* (vast midden tussen verwarm- en koelsetpoint) of *inblaas* (vast doel per seizoen of heel jaar).
- **Reactietijd** (ventilatie-temperatuursturing-reactietijd-s): standaard 300 s filter op het stuurdoel.
- **Spoel-medium**: verwarmen water/DX; koelen DX/water. **Verdampingstemperatuur** optioneel handmatig (DX 8 °C, water 14 °C).
- **Inblaasgrenzen** (ventilatie-inblaas-temp-min/max-c): standaard 16 / 35 °C; **inblaas modus** heel jaar of zomer/winter met seizoensgrenzen.

Keten toevoerlucht (canoniek, ook in visualisatie en `thermal_system_api`):

aanzuig → stuurdoel → WTW (max. terugwinning richting doel) → spoel (alleen rest) → inblaas.

Eerst wordt het stuurdoel bepaald (retour-/isotherm-/inblaassturing + gebouwvraag). Daarna wordt η_{eff} gekozen om met de WTW zoveel mogelijk richting dat doel te gaan; bij verwarmingsvraag en koude buitenlucht: bypass dicht ($\eta_{\text{eff}} = \eta_{\text{max}}$). Het koel-/verwarmspoel levert alleen het resterende ΔT tussen `vent_t_na_wtw_c` en het gefilterde stuurdoel — niet parallel met een open bypass.

Per-uur reeksen (via `per_hour`): `vent_t_aanzuig_c`, `vent_t_na_wtw_c`, `vent_t_inblaas_c`, `vent_t_retour_c`, `vent_t_stuur_doel_c`, `vent_q_spoel_verw_w`, `vent_q_spoel_koel_w`; `wtw_bypass_pct` en `wtw_rendement_pct` volgen uit dezelfde gekoppelde η_{eff} .

De netto mechanische ventilatiewarmtestroom in het energiestromen-diagram is $Q_{\text{vent,mech}} = \dot{m}_{\text{mech}} c_p (T_{\text{inblaas}} - T_{\text{retour}})$; infiltratie en ramen staan apart (`Q_infil_W`, `Q_vent_windows_W`). Technische referentie: warmteberekening/d

All-air. Bij klimaatstelsysteem all-air worden uit debiet en toevoergrenzen fysieke coil-limieten afgeleid:

$$Q_{\text{verw,max}} = \frac{V}{3600} \rho c_p \max(T_{\text{sup,max}} - T_{\text{set,verw}}, 0), \quad Q_{\text{koel,max}} = \frac{V}{3600} \rho c_p \max(T_{\text{set,koel}} - T_{\text{sup,min}}, 0).$$

Zonder handmatig debiet volgt een **tweede run** met het 80e percentiel van het per uur benodigde debiet als effectief ontwerpdebiet. Transparantievelden: `all_air_V_ontwerp_m3h`, `all_air_V_dynamic_80_m3h`, `all_air_verwarming_vermogen_*`.

5.6 CO₂-concentratie binnen

De CO₂-concentratie volgt uit een massabalans per uur:

$$C_{\text{in}} = C_{\text{out}} + \frac{G \cdot 10^6}{Q \cdot \eta} \quad [\text{ppm}],$$

met G de CO₂-productie ($\approx 5 \times 10^{-6}$ m³/s per persoon), Q het totaal debiet (mechanisch + infiltratie + ramen) [m³/s] en η de ventilatie-effectiviteit. Buitenconcentratie uit de weerdataset plus omgevings-offset (§3.10). Het totale debiet voor de massabalans is het *simulatie-debiet* (`luchtdebiet_per_hour`) plus infiltratie en ramen — niet een apart verlaagd KPI-debiet.

6 Verwarmen en koelen

Dit hoofdstuk volgt het invoerblok **Installaties**. Het beschrijft het klimaatstelsysteem, de klimaatsturing, vermogensgrenzen, de warmtepomp met dynamische COP en hulpenergie.

6.1 Klimaatssystemen

De keuze **klimaatstelsysteem** bepaalt waar verwarming en koeling in het RC-model worden gekoppeld en welke vermogenscaps gelden [W/m² GBO]:

Waarde	Label UI	Afgifte	Verw./koel cap
<code>airconditioning</code>	Split-AC	lucht (T_i)	100 / 150
<code>radiatoren-airconditioning</code>	Radiatoren + AC	lucht	120 / 150
<code>all-air</code>	Centrale AHU	ventilatielucht (spoel)	100 / 150
<code>traditioneel-vloer</code>	Vloerverwarming/-koeling	vloer (T_{fi})	80 / 25
<code>traditioneel-plafond</code>	Klimaatplafond	plafond (T_{ci})	100 / 100
<code>pcm-vloer</code>	PCM Klimaatvloer	vloer + PCM-massa	100 / 30
<code>pcm-vloer-droog</code>	PCM vloer droog	vloer + PCM	50 / 15
<code>pcm-plafond</code>	PCM klimaatplafond	plafond + PCM	100 / 60

Bij **multi-zone** (meerdere verdiepingen) worden vloer- en plafond-HVAC per zone afzonderlijk gerouteerd; het klimaatsysteem blijft gebouwbreed. pcm-vloer activeert fase-overgangsmateriaal in de vloerconstructie (verhoogde thermische capaciteit rond pcm-type, standaard 26 °C), waardoor pieken in warmte- en koudevraag worden afgevlakt. radiatoren-airconditioning zet automatisch warmte-koudeopwekker-type op lucht_water, tenzij water_water al was gekozen.

6.2 Klimaatsturing

Klimaatsturing (klimaatsturing) bepaalt welke temperatuur het regelsignaal T_{ctrl} is:

Waarde	Stuurvariabele	Setpoint(s)
ruimtethermostaat_1 (standaard)	T_i lucht	setpoint-enkel
ruimtethermostaat_2	T_i lucht	verwarm + koel
plafondsensor_1	operatief T_{op}	setpoint-enkel
plafondsensor_2	operatief T_{op}	verwarm + koel
plafondsensor_iss074	operatief T_{op}	adaptief ISS074
plafondsensor_en16798	operatief T_{op}	adaptief EN16798
vloersensor_stabiel	vloertemp. ~ 3 cm	setpoint-vloer + ATG
plafondsensor_stabiel	plafond T_{ci}	setpoint-plafond + ATG
vloer_adaptief	vloertemp. adaptief	hysteresis $\pm 0,5$ K

Operatieve temperatuur: $T_{op} = 0,5 T_i + 0,5 T_{mrt}$, met correctie voor koude toevoerlucht. Adaptieve sturing (ISS074/EN16798): 168-uurs running mean buiten; $T_{adaptief} = 0,33 \cdot \max(T_{rm}, 10) + 18,8$; verwarm $-0,5$ K, koel $+0,5$ K.

Kloktijden en bezetting. kloktijden-en-bezetting (standaard UI: continu):

- standaard: HVAC actief 1 u vóór t/m 1 u na bezetting; buiten uit;
- aan_uit_direct: alleen tijdens strikte bezetting;
- aan_uit_comfort: buiten bezetting setback ± 2 K;
- continu: altijd actief.

Gelijktijdig verwarmen en koelen (gelijktijdig-verwarmen-koelen): bij multi-zone kan koeling in één zone verwarming elders in hetzelfde uur blokkeren (standaard uit bij woning, aan bij kantoor/onderwijs).

6.3 Vermogensgrenzen en SCOP

Optionele overrides verwarming-vermogen-max-override / koeling-vermogen-max-override [kW] begrenzen de geleverde warmte/koude. Zonder override gelden de tabelwaarden $\times$ GBO (of zone-GBO).

SCOP-verwarmen (standaard 3) en **SCOP-koelen** (standaard 4) worden gebruikt voor de elektrische omrekening tenzij dynamische COP actief is.

6.4 Dynamische COP

Met **dynamische HP-COP** (use-dynamic-hp-cop) of een expliciet warmte-koudeopwekker-type berekent het model per uur de effectieve COP/EER uit buiten- of bodemtemperatuur en aanvoertemperatuur:

- **lucht_water** (standaard): bron = buitenlucht; optionele compressor-boost (standaard 3 kWel);
- **lucht_lucht**: bron = buitenlucht; geen boost;
- **water_water**: bron = bodem (t_{grond_hourly}); optioneel bodem-seizoensopslag (geen/bepoort/gemiddeld/vee

De **stooklijn** voor verwarmen loopt lineair door $(0\text{ °C}, T_{sup,0})$ en $(T_{stooksetpoint}, T_{stooksetpoint} + \text{lift})$; standaard $T_{sup,0}$ uit isolatieprofiel (bijv. passief 28 °C, besluit 40 °C, zwak 70 °C) gecorrigeerd met setpoint en NTA-bouwwijze. De gebruikerscurve (cop-verwarmen- t_1/t_2 , cop-koelen- t_1/t_2) wordt geschaald met

een Carnot-factor (cop-carnot-alpha). Per-uur output: cop_verwarmen , cop_koelen , $\text{t_toevoer_verwarming}$ (hydraulische aanvoertemperatuur, niet de ventilatie-inblaas).

6.5 Hulpenergie

Hulpenergie-modus (hulpenergie-modus , standaard forfait):

- **geen**: geen hulpenergie;
- **forfait**: $\text{hulpenergie-forfait-kwh-per-m2-jaar} \times \text{GBO}$ (standaard $2,5 \text{ kWh/m}^2 \text{ jr}$), verdeeld naar rato verw/koel;
- **vast**: vast jaartotaal;
- **vermogen_bij_actief**: pompen en regeling alleen bij actieve verw/koel (drempel 50 W).

SCOP-systemgrenzen en $\text{hulpenergie-optellen-bij-totaal}$ bepalen of hulpenergie in verw_tot_na_SCOP en netbelasting meetelt. Hulpenergie telt niet mee als thermische interne opwekking.

6.6 Tapwater (woning)

Het aparte blok **Tapwater (woning)** is alleen zichtbaar bij $\text{gebouwfunctie} = \text{woning}$. Met tapwater-meedoen (standaard aan) wordt warm tapwater berekend:

- **Verbruik**: $\text{max}(\text{normatief liter/persoon/dag}, \text{douchepad}) \times \text{gebruiksgedrag-tapwater}$;
- **Thermisch**: $Q = \rho c_p V \Delta T$; douche-WTW vermindert alleen het verbruiksdeel;
- **Vatverlies**: ISSO-98 opslagvolume (override mogelijk), $\text{tapwater-vat-warmteverlies-pct-per-dag}$ (standaard $0,5\%$ /dag);
- **Elektrisch**: $\text{tapwater_kwh_e_jaar} = \text{thermisch} / \text{SCOP-tapwater}$ (standaard $2,5$); uurprofiel volgens $\text{tapwater-elektrisch-profiel}$.

7 Energiesturing

Dit hoofdstuk volgt het invoerblok **Energiesturing en batterijen**. De functies worden *post-hoc* op het thermisch model toegepast: het binnenklimaat is berekend met volle installatiecapaciteit; energiesturing reduceert of verschuift uitsluitend de elektrische bijdrage (netbelasting).

7.1 Zon-PV

PV-panelen worden als **plattegrond-elementen** geplaatst (niet via een aparte toggle). Per element: kolommen $\times$ rijen modules, modulePeakPowerW (standaard 410 Wp), lay-out (zuid 12° , oost-west 12° of 45°) en rotatie. Het opbrengstmodel berekent per uur AC-vermogen uit globale straling, oriëntatie, helling, moduletemperatuur (f_{temp}), schaduwfactoren (§2.8) en omvormerrendement (97%). Jaaropbrengst: $\text{pv_opbrengst_kwh_jaar}$; zelfverbruik: $\text{pv_zelfverbruik_pct_jaar}$. **Batterij voorkomt PV-teruglevering** ($\text{energiesturing-batterij-voorkom-pv-teruglevering}$) kan ook zonder actieve batterij de AC-opbrengst begrenzen tot directe last.

7.2 Batterij

- **Actief** ($\text{energiesturing-batterij-actief}$): master switch.
- **Capaciteit** (standaard 10 kWh), **max. vermogen** (standaard 2 kW , symmetrisch laden/ontladen), **RTE** (standaard 82%).

- **Strategie:** zelfconsumptie (standaard), piekafvlakking, tijdgebaseerd (dal/piek-uren instelbaar), noodstroom.
- SOC start 50 %; geen configureerbare min/max SOC.

Bij piekafvlakking en actieve kVA-grenzen wordt net-laden in daluren begrensd tot de resterende headroom; PV-laden uit overschot wordt niet begrensd door de kVA-cap. Output: `batterij_soc_pct`, `batterij_laden_kwh`, `batterij_ontladen_kwh`.

7.3 EV laden

Met energiesturing-ev-actief genereert het model een uurlijks laadprofiel (standaard 7 kW, 40 kWh/sessie, `1x_per_week`).

Laadvenster per gebouwtype. Het tijdvenster waarin sessies worden geplaatst hangt af van het bezettingsprofiel:

- **Woning** (en `custom` met fallback woning): bestaande verdeling — sessies op willekeurige uren (of vast startuur bij *elke dag vast*), met als enige beperking geen start tussen 22:00 en 06:00; eenmaal gestart mag laden doorlopen in de nacht.
- **Kantoor en onderwijs:** laden **uitsluitend binnen bezettingstijden** (`bezetting-beginuur/bezetting-einduur`). Sessies krijgen een voorkeurs-startuur binnen het bezettingsvenster; past een sessie niet volledig binnen één bezettingsdag, dan wordt het restant op de eerstvolgende bezettingsuren geladen (sessietotaal behouden). Met `bezetting-weekend-vrij`: in het weekend niet laden — wekelijkse sessies schuiven naar de eerstvolgende werkdag; bij dagelijkse frequenties vervallen weekendsessies.

Slim laden (piekbegrenzing). `energiesturing-ev-slim-laden-actief + energiesturing-ev-slim-laden-piek` (standaard 25 kVA): per uur tijdelijke begrenzing met carry-over naar latere uren, zodat het sessietotaal als nog wordt geladen:

$$\text{gewenst}(h) = \text{ev}(h) + \text{carry}(h), \quad \text{headroom}(h) = \max(0, G_{ev} - P_{\text{basis}}(h)),$$

$$\text{ev}_{\text{eff}}(h) = \min(\text{gewenst}, \text{headroom}, P_{\text{lader}}), \quad \text{carry}(h+1) = \text{gewenst} - \text{ev}_{\text{eff}}.$$

$P_{\text{basis}} = \text{WP/SCOP} + \text{ventilatie} + \text{tapwater} + \text{apparatuur} + \text{hulpenergie (zonder EV en PV)}$.

7.4 Warmtepomp-energiesturing

WP alleen overdag (`energiesturing-wp-alleen-overdag`): tussen 9:00 en 17:00 volle WP; daarbuiten verw_i en koel_i op nul in de elektrische boekhouding (venster vast).

WP begrenzen op netbelasting (`energiesturing-wp-curtail-net-actief`, grens standaard 25 kVA): proportionele schaling van WP-verw en -koel per uur wanneer de belasting na EV-curtail boven de grens dreigt:

$$f(h) = \max\left(0, \frac{P_{\text{WP,elec}}(h) - \max(0, P_{\text{na EV}}(h) - G_{wp})}{P_{\text{WP,elec}}(h)}\right).$$

7.5 Volgorde en netbelasting

Curtailment per uur:

1. Ruwe verw_i , koel_i uit thermisch model;
2. WP alleen overdag (indien aan);
3. P_{basis} (zonder EV, zonder PV-aftrek);

4. EV-slim-laden (indien aan);
5. WP-proportionele schaal (indien aan);
6. PV-zelfverbruik + batterij; net-laden cap $\leq \max(0, \min(G_{ev}, G_{wp}) - P_{import})$.

Netbelasting per uur: netbelasting_kva $\approx$ import na PV en batterij [kW]; netbelasting_kva_max is de jaarpiek in de resultatentabel.

7.6 Apparatuur en verlichting

Toggle energiesturing-apparatuur-verlichting-meedoen (standaard uit) activeert een unified baseload; bij aan ook thermische terugkoppeling naar bezetting-interne-opwekking:

Profiel	Zuinig / normaal / comfort	Verdeling
Woning	595 / 850 / 1275 kWh/pers.jr	kookpiek 17–19 u
Kantoor	18 / 23 / 33 kWh/m ² jr	80 % bezetting, 20 % standby
Onderwijs	9 / 12 / 17 kWh/m ² jr	idem

Niveau zuinig: kantoor afgeleid uit $\sim 5 \text{ W/m}^2$ verlichting (70 %, 2000 h) + 60 W/persoon werkplekken + lift; onderwijs: klasschermen, geen werkplek-elektriciteit per leerling.

8 Active House

Het invoerblok **Active House** is beschikbaar wanneer de feature-flag actief is. Schakel **Active House-radar in uitvoer en rapport** (active-house-radar-enabled) in om de radargrafiek in het resultatenpaneel en het PDF-rapport te tonen.

De radar toont **negen assen** (niveau 1 = best, 4 = laagste band nog in spec, null = geen data), geïnspireerd op Active House Specifications 3rd ed. (2020) — *geen officiële certificering*:

As	Bron	Indicatie drempels
Akoestiek	handmatig (gem. binnen/buiten/privacy)	1–4 direct
Daglicht	berekend daglichtfactor_17037_pct	$\geq 5\% \rightarrow 1$; $\geq 0,7\% \rightarrow 4$
Thermisch	gto + actieve-koeling	GTO-uren per band
IAQ (CO ₂)	co2_binnen_max – outdoor	$\Delta \leq 400 \text{ ppm} \rightarrow 1$
Energievraag	verw_tot_na_SCOP/GBO	$< 40 \text{ kWh/m}^2 \rightarrow 1$
Energieaanbod	ah-energy-renewable-pct	$> 100\% \rightarrow 1$
Primair energie	ah-primary-energy-kwh	handmatig
Duurzaam bouwen	ah-sustainable-level	1–4 direct
Vers water	toilet/douche/kraan	gemiddelde van stromen

Handmatige invoer: akoestiek (binnen/buiten/privacy, optioneel privacy N/A), buiten-CO₂ (placeholder 420 ppm), hernieuwbaar energie-aandeel, primair energiegebruik, duurzaamheidsniveau, waterdebieten (douche volgt tapwater-debite-L-min tenzij override). Berekenende assen gebruiken de warmteberekenings-uitkomst; de radar is een vereenvoudigde proxy ten opzichte van de volledige Active House-beoordeling.

9 Resultaten

Dit hoofdstuk volgt de **weergavevolgorde** in het resultatenpaneel van de tekentool.

9.1 Resultatentabel

De compacte tabel onder *Resultaten* toont jaartotalen en pieken in vaste volgorde:

1. Verwarming [kWh] — verw_tot;

2. Koeling [kWh] — `koel_tot`;
3. Tapwater thermisch [kWh] — `tapwater_kwh_th` (alleen woning);
4. Totaal thermisch [kWh];
5. Ventilatie-energie [kWh] — `ventilatie_energie_kwh`;
6. Hulpenergie [kWh];
7. Apparatuur + verlichting [kWh] (indien actief);
8. EV [kWh] (indien actief);
9. Totaal elektrisch [kWh] — `verw_tot_na_SCOP`;
10. Zon-PV opbrengst [kWh] en zelfverbruik [%];
11. Energiegebruik [kWh/m² jr];
12. Piek netbelasting [kVA];
13. Piekvermogen verwarming, tapwater (woning), koeling [kW] en [W/m²];
14. GTO en GTO onder [uren];
15. CO₂ gemiddeld en max [ppm];
16. Daglichtfactor [%] en NEN 17037 [%].

Onder de tabel: berekeningstatus, ISSO-waarschuwingen en meldingen (weerdaset, locatie, WTW).

9.2 ISSO-51 en ISSO-53 warmteverlies

Voor Nederlandse locaties toont een collapsible blok de statische warmteverliesberekening naast de dynamische simulatie:

- **Woning** → ISSO-51 onder `isso51`: `benodigd_vermogen_kw`, `opgesteld_vermogen_kw`, transmissie Φ_T (ie/ia/io/ib/ig), infiltratie Φ_i , ventilatie Φ_v , opwarmtoeslag, systeemverliezen, θ_e .
- **Kantoor/school** → ISSO-53 onder `isso53`: meerdere ruimten bij multi-zone, winddruk, reductiefactor z , hoogtewaarschuwing > 4 m.

Mapping en aannames: bijlage B. Bij onvolledige invoer of onbeschikbare service: foutobject met `display_message`; hoofdresultaten blijven beschikbaar.

9.3 Visualisatie energiestromen

Het blok **Visualisatie energiestromen** (`thermalSystemViz.js`) toont een geanimeerd SVG-diagram van het warmtestroomsysteem: vier kolommen buiten → gebouw → installaties → energie. Thermische fluxen rood/blauw; elektrisch geel. Alleen actieve blokken worden getoond. Het ventilatieblok toont aanzuig, retour, na WTW, bypass-klep en inblaas volgens de gekoppelde keten (§5.5); de pijl *netto vent naar gebouw* gebruikt $T_{\text{inblaas}} - T_{\text{retour}}$. Jaar-kWh per pijl uit `values.thermal_system_graph`; substep-traces voor animatie (`values.per_step.thermal_system`). Canonieke definitie: bijlage A en §9.8.

9.4 Energie- en warmtebalans (Sankey)

De **Sankey** splitst de thermische balans in warmte, koude, zon, interne lasten en verliezen via schil, glas, ventilatie en infiltratie (`values.sankey_thermal_kwh`). Gebaseerd op substep-traces wanneer beschikbaar; anders UA-proxy.

9.5 ATG-grafiek

De **ATG** (Adaptieve Temperatuur Grenswaarden) toont per dag een punt: gemiddelde buitentemperatuur (x) versus gemiddelde binnen- of operatieve temperatuur tijdens bezetting (y). Achtergrondzones volgens gekozen norm (ISSO 74, EN 16798, ASHRAE 55, ISO 7730); y-as keuze lucht of operatief; gebouwtype Alpha/Bèta voor ISSO 74. Formules: §9.9.

9.6 Belastingduurkromme

De **belastingduurkromme** sorteert uurwaarden van verwarming of koeling van hoog naar laag, zodat piekvermogen zich verhoudt tot percentielvermogen ($\text{nominal_verw_kw} / \text{nominal_koel_kw}$, 90e percentiel). Bij vergelijkmodus: beide scenario's.

9.7 Overige visualisaties

- **Gebouw 3D**: illustratief beeld met daktype en plattegrond-elementen;
- **Jaargrafiek**: selecteerbare per-uur reeksen (binnentemperatuur, debiet, COP, netbelasting, ...); CSV-export van alle 8760 uurwaarden;
- **Active House radar** (§8): bij ingeschakelde optie;
- **Vergelijk maken**: scenario A/B met delta-paneel (energie, pieken, comfort, ISSO);
- **Druk rapport af**: A4-PDF met meta, invoertabellen, resultaten, maandtabel, ATG, LDC, jaargrafiek, COP-grafieken, Sankey, systeemweergave, ISSO, 3D en plattegronden.

9.8 Prestatieparameters

De API levert scalaire values en `values.per_hour` (zie hoofdstuk 10). Belangrijke berekeningen:

- `verw_tot`, `koel_tot`: som vermogen $\times \Delta t$ over alle substappen;
- `verw_tot_na_SCOP`: compressor/SCOP + ventilatie + hulpenergie + tapwater + apparatuur + EV;
- `gto`, `gto_onder`: gewogen temperatuuroverschrijding via interpolatietabellen;
- `klimaatklasse_A/B/C_pct`: ISO 7730 tijdens bezetting;
- `thermal_system_graph`: blokken, pijlen, `flux_totals_kwh`.

Blokcatalogus, fluxtypen en pijlen: zie bijlage A.

9.9 ATG-comfortformules

EN 16798. $T_{\text{comf}} = 0,33x + 18,8$ (horizontaal onder 10 °C); Class I/II/III: $\pm 2/3/4$ K.

ASHRAE 55. $T_{\text{comf}} = 0,31x + 17,8$; 90 % acceptabel $\pm 2,5$ K; 80 % $\pm 3,5$ K.

ISSO 74. Ondergrenzen: $T_{\text{min,AB}} = 20 + 0,2(x - 10)$; C: 19; D: 18. Bovengrenzen Alpha: $18,8 + 0,33x + 2/3/4$; Bèta afgevlakt boven 16 °C.

ISO 7730. Vaste banden: A 22–25 °C, B 21–26 °C, C 20–27 °C.

10 API

De OC Gebouwsimulatie is programmeerbaar via een **REST-API**. De gebruikersinterface roept dezelfde endpoints aan als externe integraties; er is geen aparte “UI-only” rekenpad. Dit hoofdstuk beschrijft de architectuur, de aansluiting op de OpenAPI-specificatie en waar de volledige veldreferentie staat.

10.1 Architectuur

De API bestaat uit twee lagen:

1. **Warmteberekeningsservice** (poort 5000, mount /warmteberekening/): voert de jaarsimulatie uit. POST /api/weer/load laadt klimaatdata; POST /api/model verwacht bij online EPW een weer_load_key. Antwoord model: result, values (scalaire jaartotalen), values.per_hour (8760 uurreeksen) en optionele waarschuwingen.
2. **Tekentool-proxy** (poort 5001, mount /tekentool/): POST /tekentool/api/weer/load en POST /tekentool/api/model sturen door naar de warmteberekening. De UI laadt klimaat bij locatie/datasetwijziging; de model-call bevat geen inline EPW-array meer. Bij succes voegt de tekentool voor Nederlandse locaties een isso51- of isso53-blok toe (statisch warmteverlies; zie bijlage B). Aanvullende routes: GET /api/suggest-weer-dataset, GET /api/isso51/availability, GET /api/compare-presets, POST /api/atg (ATG uit cache).

In productie draaien beide services achter één webserver; de basispaden blijven /warmteberekening/api/... en /tekentool/api/... Lokaal: respectievelijk `http://127.0.0.1:5000/warmteberekening/api/model` en `http://127.0.0.1:5001/tekentool/api/model`.

10.2 OpenAPI-specificatie

Het machineleesbare contract is **OpenAPI 3.1.0**. De warmteberekening publiceert de specificatie op:

- GET /warmteberekening/api/openapi.json (alias /api/v1/openapi.json);
- GET /warmteberekening/api/openapi.yaml;
- GET /warmteberekening/api/docs — browsebare Redoc-documentatie op basis van dezelfde spec.

De OpenAPI-beschrijving definieert paden, authenticatie, health-checks, timeouts en het request-/response-schema van POST /model. De implementatie in de warmteberekeningsservice volgt deze specificatie; bij wijzigingen in endpoints of auth wordt openapi.json mee bijgewerkt. Health-endpoints (/api/health/live, /api/health/ready) zijn publiek; POST /api/model vereist in productie authenticatie (sessie-cookie, header X-API-Key of Authorization: Bearer).

10.3 Belangrijkste endpoints

Methode	Pad	Doel
POST	/api/model	Jaarsimulatie; body {parameters}; bij online EPW: weer_load_key
POST	/api/weer/load	Klimaatinladen; retourneert weer_load_key
POST	/api/atg	ATG-grafiek uit cache (atg_cache_id)
GET	/api/suggest-weer-dataset	Weerdataset / dichtstbijzijnde EPW
POST	/api/save, /api/recall	Opslaan/laden (ingelogde gebruiker)
GET	/api/openapi.json	OpenAPI 3.1-specificatie
GET	/api/docs	Redoc UI

Request: verplicht top-level veld parameters — platte sleutel-waardeparen zoals in de tekentool (hoofdstukken 2–8), of bij meerdere verdiepingen thermal_zones[] en floorCoupling[]. Bij online EPW:

eerst POST /api/weer/load, daarna weer_load_key in parameters. Optioneel: multi-zone-solver, locatie-lat/locatie-lon.

Response: result = success of error; bij succes values met o.a. verw_tot, koel_tot, verw_tot_na_SCOP, gto, per_hour.*, thermal_system_graph, sankey_thermal_kwh. Via de tekentool-proxy komt daar iso51/iso53 en heatloss_norm bij. Fouten bevatten message en vaak display_message voor de UI.

10.4 Operationele randvoorwaarden

- **Timeout** POST /api/model: standaard 480 s (WARMTEBEREKENING_MODEL_TIMEOUT_SEC; alleen jaarsimulatie, geen EPW-download); POST /api/weer/load: standaard 120 s (WARMTEBEREKENING_WEER_LOAD_TIMEOUT_SEC; alleen EPW-download). HTTP 504 bij overschrijding. Response-headers X-Request-Timeout-Sec en X-Recommended-Client-Timeout (model). Bij een volgende parameterwijziging die geen locatie/weer-dataset is, blijft klimaatladen overgeslagen (zelfde weer_load_key).
- **Ontwikkeling:** zonder API-key wanneer FLASK_DEBUG=1 of OC_API_AUTH_DISABLED=1.
- **Integratie:** stel WARMTEBEREKENING_SERVICE_API_KEY in aan cliëntzijde (tekentool) en WARMTEBEREKENING_API_KEY of OC_SERVICES_API_KEY op de server.

10.5 API-documentatie (PDF)

De OpenAPI-spec beschrijft het contract (paden, auth, globale schema's). Voor een **veld-voor-veld** overzicht van alle payload-parameters, typeconversies en uitvoervelden is een apart document beschikbaar:

Volledige API-specificatie: API documentatie OC Gebouwsimulatie.pdf.

Dat document wordt automatisch gegenereerd uit de payload-conversie van de warmteberekening en bevat tabellen per invoerveld, proxy-endpoints van de tekentool en een uitgebreide beschrijving van values en per_hour. In de tekentool is het PDF ook bereikbaar via /tekentool/api-documentatie.pdf. Gebruik OpenAPI voor integratie en tooling; gebruik het API-PDF voor inhoudelijke details per parameter.

A Matrix-model energiestromen en thermische zones

A.1 Enkel-zone RC-model

Het warmtemodel (`woning_model`) lost per sub-stap een **6×6-stelsel** op met knooppunten: binnenlucht (0), glas/luifel (1–5). Conductanties $a_1 \dots a_{28}$ koppelen constructies, ventilatie, zon, interne lasten en HVAC. Wand, plafond en vloer worden met eindige differenties (`imax_wall/ceil/floor` segmenten, CFL $< 0,5$) bijgewerkt. PCM verhoogt de vloercapaciteit rond `pcm-type` ($\pm 1,5 / -2$ K grenzen).

A.2 Multi-zone opbouw

Bij $N > 1$ verdiepingen:

- Elke zone = één `thermal_zones[]` entry met eigen oppervlakten, setpoints en optioneel ramen;
- **floorCoupling**: gedeelde FD-slab tussen $t_{fi}[z+1]$ en $t_{ci}[z]$;
- **Open trapgat**: stack-ventilatie + straling over A_{open} ;
- **Stratificatie** (stratificatie, default aan): t_{lo} / t_{hi} met natuurlijke stratificatie-flux $\propto |\Delta T_{vert}|^{0,25}$;
- **Solver**: `light` (default) of `full_zone`; bij open trapgat auto-switch naar `full`;
- Centrale ventilatie en WTW: één debiet voor het gebouw, zone-debiet naar GBO-aandeel.

A.3 Warmtestroomsysteem-grafiek

Het energiestromen-diagram formaliseert warmtestromen voor UI, rapport en consistentieregels. Vier kolommen: **buiten** → **gebouw** → **installaties** → **energie**.

Blok-ID	Label	Kolom	Actief wanneer
<code>outdoor.weather</code>	Buiten / weer	buiten	altijd
<code>envelope.opaque</code>	Transmissie opaak	gebouw	altijd
<code>envelope.glass</code>	Glas + zon	gebouw	altijd
<code>zone.air_sensible</code>	Ruimtelucht	gebouw	altijd
<code>zone.internal</code>	Interne lasten	gebouw	altijd
<code>vent.mechanical</code>	Mech. ventilatie	installaties	altijd
<code>vent.wtw</code>	WTW	installaties	altijd
<code>vent.coil</code>	Koel-/verwarmspoel	installaties	spoel/all-air
<code>hvac.heat_delivery</code>	Verwarming ruimte	installaties	altijd
<code>hvac.cool_sensible</code>	Koeling sensible	installaties	altijd
<code>plant.hp</code>	Warmtepomp	installaties	altijd
<code>elec.pv</code>	Zon-PV	energie	PV-elementen
<code>elec.batt</code>	Accu	energie	batterij actief
<code>elec.ev</code>	Laadpaal EV	energie	EV actief
<code>elec.grid</code>	Net	energie	altijd

Fluxtypen: Q_{trans_W} , $Q_{vent_mech_W}$ ($\dot{m} c_p \Delta T_{inblaas-retour}$), $Q_{vent_sensible_W}$ (mech. + infiltratie + ramen), Q_{solar_W} , $Q_{internal_W}$, $Q_{heat_delivered_W}$, $Q_{cool_sensible_W}$, $Q_{spoel_verw_W}$, $Q_{spoel_koel_W}$, E_{fan_Wh} , E_{hp_Wh} , E_{grid_Wh} , E_{pv_Wh} , E_{ev_Wh} . Jaaraggregatie: `values.thermal_system_gr`. Substep-traces: `values.per_step.thermal_system`.

A.4 Stappen in het rekenmodel

Het warmtemodel werkt in een **uur-loop** (8760) en per uur **12 sub-stappen** van 5 min ($\Delta t = 300$ s). Zie ook §1.4.

A.4.1 Initialisatie (eenmalig)

Constanten (λ , ρ , C_p), segmenten (Δx , $i_{\max_*$), conductanties $a_1 \dots a_{28}$, matrix **A**, starttemperaturen (22 °C), setpoints en ventilatie-startwaarden.

A.4.2 Uur-loop

Weer (eventueel ge-upsampeld), zoninstraling per oriëntatie met schaduw (§2.8), infiltratie met wind en beschutting (§3.3), buitentemperatuur T_{o1} , stedelijke oververhitting (§3.10).

A.4.3 Sub-stap-loop

Ventilatie/WTW (vraaggestuurde bypass, §5.2), zon en interne lasten, oplossen 6×6 -stelsel, interne massa, ondergrond, koeling/verwarming, ventilatieregel (vrije koeling/boost), FD-updates wand/plafond/vloer/PCM, operationele temperatuur, opslag per sub-stap.

A.4.4 Na de simulatie

Energie (kWh), GTO, klimaatklasse, CO₂, ventilatie-energie; post-hoc energiesturing (§7); ISSO-warmteverlies (bijlage B).

B ISSO-51 en ISSO-53 mapping

Naast de dynamische jaarsimulatie voert de tekentool automatisch een **statische warmteverliesberekening** uit op dezelfde invoer. Deze bijlage beschrijft hoe platte tekentool-parameters worden omgezet naar ISSO-51- of ISSO-53-project-JSON, hoe de berekening wordt aangeroepen en welke resultaten terugkomen in de gebruikersinterface. De dynamische rekenkern (warmteberekening) voert deze stap *niet* zelf uit; de tekentool voegt het warmteverlies toe na een geslaagde uursimulatie.

B.1 Verwerkingsketen

De keten bestaat uit vier lagen. De gebruikersinterface bouwt via `api.js` een platte parameter-dictionary (`prepareModelParameters()`), inclusief geaggregeerde oppervlakten, muurgrenstypen en locatiegegevens. De tekentool (`POST /api/model`, poort 5001) stuurt die parameters eerst naar de warmteberekening (poort 5000) voor de uursimulatie. Bij een geslaagd resultaat en een locatie binnen Nederland roept de tekentool `calculate_heatloss()` aan, die de Python-adapter op poort 5002 aanspreekt (`POST /v1/calculate`). De adapter vertaalt de parameters naar ISSO-project-JSON en stuurt die door naar de OpenAEC Rust-rekenkern op poort 3001: `POST /api/v1/calculate` voor ISSO-51, `POST /api/v1/calculate_v2` voor ISSO-53 (ProjectV2-envelope). Het antwoord wordt terugvertaald naar platte kW-velden en samengevoegd in het API-antwoord onder `isso51` of `isso53`, met `heatloss_norm` als norm-indicator.

Stap	Poort	Endpoint	Payload
1	5001	tekentool /api/model	{parameters: {...}}
2	5000	warmteberekening simulatie	zelfde parameters
3	5002	adapter /v1/calculate	{norm, parameters}
4a	3001	/api/v1/calculate	ISSO-51 Project
4b	3001	/api/v1/calculate_v2	ISSO-53 ProjectV2
5	5001 → UI	samengevoegd antwoord	values + isso51/isso53

De ISSO-adapter en de normspecifieke mappers vormen de vertaallaag. Ontwerp-buitentemperatuur θ_e wordt in beide normen identiek bepaald volgens ISSO 51 §2.7. Na de berekening overschrijft de tekentool de getoonde θ_e met dezelfde berekening, zodat de UI overeenkomt met de ingevoerde massa en PCM-instellingen.

B.2 Normkeuze en locatie

Normkeuze hangt af van de gebouwfunctie. Woningen gebruiken ISSO-51; kantoor en school (onderwijs) gebruiken ISSO-53. De functie volgt uit gebouwfunctie of, als die ontbreekt, uit bezetting-profiel (woning, kantoor, onderwijs). Bij een custom bezettingsprofiel bepaalt bezetting-fallback-profiel de norm.

Locatie beperkt de berekening tot Nederland. Coördinaten binnen de bbox lat 50,75–53,70, lon 3,20–7,25 worden geaccepteerd; ontbrekende coördinaten worden als NL aangenomen. Een expliciet land buiten nl/nederland blokkeert de berekening. Buiten Nederland retourneert de API `heatloss_skipped.reason = outside_netherlands`.

B.3 Mapping naar ISSO-51

ISSO-51 is bedoeld voor **woningen**. De mapper (`tekentool_parameters_to_project`) bouwt één samenvattende ruimte “*Woning (samenvatting)*”, ongeacht het aantal verdiepingen in de dynamische simulatie. Alle oppervlakten worden opgeteld; `thermal_zones[]` heeft geen effect op ISSO-51.

B.3.1 Gebouw- en klimaatniveau

Tekentool-parameter	ISSO-51 JSON	Transformatie / default
oppervlak-vloer	building.total_floor_area	$\max(0,01, \text{m}^2)$
gebouwwolume / GBO	rooms[0].height	volume/GBO of 2,6 m
lucht-infiltratie	building.qv10	$\text{dm}^3/(\text{s m}^2)$ gevel; default 0,4
gewenste-binnentemperatuur	rooms[0].custom_temperature	default 21 °C
luchtdebiet-min	rooms[0].ventilation_rate	$\text{m}^3/\text{h} \rightarrow \text{dm}^3/\text{s}$
ventilatie-systeem	ventilation.system_type	gebalanceerd $\rightarrow$ system_d
wtw-type + gebalanceerd	ventilation.has_heat_recovery	waars/warmte_vocht
wtw-rendement-min/max	ventilation.heat_recovery	%; min/max voorrang
θ_e -inputs (zie §B.5)	climate.theta_e	ISSO 51 §2.7
—	building.building_type	vast terraced
—	rooms[0].heating_system	vast radiator_lt

Bij gebalanceerde ventilatie met WTW wordt de toevoerluchttemperatuur $\theta_e + \eta(\theta_i - \theta_e)$. Mechanische toevoer is alleen actief bij gebalanceerd systeem met debiet > 0 .

B.3.2 Constructies en muurgrenstypen

Rc-waarden worden omgezet naar $U = 1/R_c$. Bij voorkeur worden **gesplitste oppervlaktes** uit de plattegrond gebruikt (wallBoundaries):

Tekentool-sleutel	boundary_type	vertical_position	material_type
oppervlak-muur-buitenlucht	exterior	wall	masonry
oppervlak-glas-buitenlucht	exterior	wall	non_masonry
oppervlak-muur-onverwarmd-binnen	unheated_space	wall	masonry
oppervlak-glas-onverwarmd-binnen	unheated_space	wall	non_masonry
oppervlak-muur-verwarmd-buurland	adjacent_building	wall	masonry
oppervlak-glas-verwarmd-buurland	adjacent_building	wall	non_masonry
oppervlak-plafond	exterior	ceiling	masonry
oppervlak-vloer	ground	floor	masonry

Zonder gesplitste sleutels schaaft Fractie-muur het totaal oppervlak-muur; glas wordt eerst aan de buitengevel toegewezen. Vloer en dak worden overgeslagen wanneer transmissie-vloer of transmissie-dak uit staat.

B.3.3 Infiltratie, ventilatie en verwerking

Infiltratie: lucht-infiltratie per m^2 buitengevel $\rightarrow$ building.qv10, methode per_exterior_area. Ventilatie gebruikt alleen luchtdebiet-min; CO₂-sturing en aanzuigpunt-ventilatie zijn niet van invloed op de statische berekening.

De adapter ontvangt {norm: "ISSO-51", parameters} en bouwt het Project-JSON; OpenAEC /api/v1/calculate berekent volgens ISSO 51 §4.5.3. **Niet meegenomen:** bouwjaar, gebouw-positie, dak-type, multi-zone setpoints, bomen/PV/schaduw, dynamische ventilatieregeling.

B.3.4 Uitvoer ISSO-51

Het antwoord onder isso51.values bevat onder meer de volgende sleutels (ISSO 51 §4.5.3):

Sleutel	Betekenis
benodigd_vermogen_kw	Aansluitcapaciteit (totaal warmteverlies)
isso51_theta_e_c	Ontwerp-buitentemperatuur θ_e [°C]
isso51_basis_kw	Basis warmteverlies Φ_{basis}
isso51_extra_kw	Extra warmteverlies Φ_{extra}
isso51_transmissie_phi_t_ie_kw	Transmissie naar buitenlucht
isso51_transmissie_phi_t_ia_kw	Transmissie naar aangrenzende ruimte
isso51_transmissie_phi_t_io_kw	Transmissie naar onverwarmde ruimte
isso51_transmissie_phi_t_ib_kw	Transmissie naar verwarmd buurgebouw
isso51_transmissie_phi_t_ig_kw	Transmissie naar grond
isso51_ventilatie_phi_v_kw	Ventilatieverlies
isso51_infiltratie_phi_i_kw	Infiltratieverlies
isso51_opwarmtoeslag_kw	Opwarmtoeslag
isso51_extra_term_vent/buur/opwarm	Extra termen (vent., buur, opwarm)
isso51_extra_kw_controle	Controle: $\sqrt{\Sigma^2}$ extra-termen

Het totaal volgt $\Phi_{\text{totaal}} = \Phi_{\text{basis}} + \Phi_{\text{extra}}$, waarbij Φ_{extra} de niet-gelijktijdige termen combineert (ventilatie, buur, opwarmtoeslag).

B.4 Mapping naar ISSO-53

ISSO-53 is bedoeld voor **kantoor** en **school**. De mapper bouwt een camelCase Project in een ProjectV2-envelope (schema_version: 2, calcs.isso53).

B.4.1 Gebouwniveau

Tekentool-parameter	ISSO-53 JSON	Transformatie
aantal-verdiepingen	building.buildingShape	$> 1 \rightarrow$ meerlaags
dak-type (één laag)	idem	zadeldak $\rightarrow$ eenLaagMetKap
bouwjaar	building.constructionYear	naar (1900, jaar)
aantal-buur-gevelrichting	building.buildingPosition	$> 2 \rightarrow$ vrij/kop/tussen
gebouw-positie	override positie	bijv. meerlaagsOnder
bouwwijze-nta-tabel	building.thermalMass	licht/gemiddeld/zwaar
wind-druk-type	building.windPressureType	afgeleid uit vorm
klimaatstelsysteem	building.heatingSystem	vloer/radiator/plafond
warmteopwekking-zone-config	building.sourceZoneConfig	per zone of gedeeld
ventilatie-systeem + sturing	building.ventilationSystem	A/C/D/E

B.4.2 Infiltratie ISSO-53

Bekend pad (lucht-infiltratie > 0): de karakteristieke luchtstroom per GBO is

$$q_{\text{kar}} = \frac{q_i \cdot A_{\text{gevel}}}{\text{GBO}} \quad [\text{dm}^3/(\text{s m}^2)],$$

met A_{gevel} = oppervlak-gevel-infiltratie-m2 of de som oppervlak-muur-buitenlucht + oppervlak-glas-buitenlucht
Het resultaat valt in een qv10_kar_class-band:

q_{kar} [dm ³ /(s m ²)]	Klasse
< 0,20	LessThan020
0,20 – 0,40	From020To040
0,40 – 0,60	From040To060
0,60 – 0,80	From060To080
0,80 – 1,00	From080To100
> 1,00	GreaterThan100

Onbekend pad (geen lucht-infiltratie): ISSO-53 gebruikt bouwjaar en geschatte afmetingen (buildingLength, buildingWidth, buildingHeight). Per ruimte past infiltratie-reductie-z de windreductie toe: beide open gevelparen (N-S én O-W) → 0,7; één paar → 0,85; geen → 1,0.

B.4.3 Ruimten en multi-zone

Bij één verdieping: één ruimte *“Utiliteit (samenvatting)”* met volledige GBO, hoogte 2–4 m en gewenste-binnentemperatuur. Bij thermal_zones[] met $N > 1$: één ISSO-53-ruimte per verdieping met eigen floorArea, height, customTemperature en label. Constructie-oppervlakten worden geschaald met GBO_{zone}/GBO_{totaal} .

Gebruiksfunctie: kantoor → kantoorruimte (1/30 pers./m²); school → lesruimte (1/2,2 pers./m²). Centrale ventilatie en WTW blijven gebouwniveau; debietverdeling volgt de normkern per ruimte.

B.4.4 Constructies ISSO-53

Naast de gesplitste muur- en glasoppervlakten (zelfde grenstypen als ISSO-51) ondersteunt ISSO-53:

- oppervlak-muur-tegen-grond-m2 — wand op grond, met groundParams;
- oppervlak-vloer-tegen-grond-m2 — vloer op grond (fallback: oppervlak-vloer);
- onverwarmde wanden — unheatedSpace: kelder met/zonder ramen, ruimte onder niet-geïsoleerd dak, of vertrek aan één buitenzijde;
- grondcontact — perimeter uit building-length-m/width-m of $4\sqrt{GBO}$; depth uit kelder-diepte-m of ground-floor-index × ruimtehoogte.

B.4.5 Ventilatie ISSO-53

Tekentool	ISSO-53	Betekenis
ventilatie-systeem = gebalanceerd	systemD	Balansventilatie met toevoer en afvoer
ventilatiesturing = co2 + kantoor	systemE	CO ₂ -gestuurde ventilatie
ventilatie-systeem = mechanisch	systemC	Mechanische afvoer
overig / natuurlijk	systemA	Natuurlijke ventilatie
wtw-type	hasHeatRecovery	WTW actief bij gebalanceerd
warmte/warmte_vocht		
wtw-rendement-min/max	heatRecoveryEfficiency	Rendement 0–1

B.4.6 Verwerking en uitvoer ISSO-53

De adapter routeert op norm = "ISSO-53". wrap_iss053_project_v2() verpakt het project; OpenAEC /api/v1/calculate_v2 roept iss053-core aan. Bij ruimtehoogte > 4 m: iss053_height_limit_warning = true (ISSO 57 voor grote volumes).

Uitvoer onder iss053.values: iss053_totaal_warmteverlies_kw, iss053_shell_heat_loss_kw, iss053_theta_e_c, transmissie/ventilatie/infiltratie per grenstype. Voor het gedeelde UI-panel worden iss051_*-sleutels **gespiegeld** (zelfde transmissiesplitsing en extra-termen).

B.5 Ontwerp-buitentemperatuur θ_e

θ_e is voor beide normen identiek (ISSO 51 §2.7). Uitgangspunt -10 °C ; correctie $\Delta\theta$ uit $\tau = C/H$:

$$\Delta\theta(\tau) = \begin{cases} 0\text{ K}, & \tau \leq 18\text{ h}, \\ 4\text{ K}, & \tau \geq 90\text{ h}, \\ \text{lineair}, & \text{anders.} \end{cases}$$

Resultaat begrensd op $[-10, -6]$ °C.

Warmtecapaciteit C [Wh/K]: expliciet via `isso51-effectieve-warmtecapaciteit-whk`, of $C = GBO \times c_{\text{spec}}$. De NTA8800-bouwwijze (`bouwwijze-nta-tabel`) zet c_{spec} in de UI:

Bouwwijze	c_{spec} [Wh/(m ² K)]
cat1_a / cat1_b	72 / 90
cat2_a / cat2_b	99 / 117
cat3_a / cat3_b	135 / 153
cat4_a / cat4_b	153 / 186
(default zonder sleutel)	165

Bij PCM: $+5 \text{ kg/m}^2 \times 172 \text{ kJ/kg}$ equivalente massa; ΔT_{ref} uit `pcm-type` (23 → 3 K, 24 → 4 K, 26 → 5 K).

Warmteverlies H [W/K]: transmissie (gesplitste oppervlakten $\times U$), ventilatie ($1,2 \times q_{\text{vent}}$) en infiltratie ($1,2 \times q_i$ via tabel 4.3). Override: `isso51-ontwerp-buitentemperatuur` overschrijft de berekening volledig.

B.6 Parameterherkomst in de tekentool

De platte parameters worden in `api.js` opgebouwd vóór elke simulatie. Geometrie en oppervlakten komen uit de plattegrondtekening; `wallBoundaries` per segment bepalen de opsplitsing in buitenlucht, onverwarmd buur en verwarmd buur. De 3D BAG-assistent kan muurgrenstypen voorstellen (`/api/3dbag/suggest-wall-bou`). Locatie (`locatie-lat`, `locatie-lon`, `locatie-country-code`) stuurt zowel de weerdataset als de ISSO-beschikbaarheid. Isolatieprofielen vullen defaults voor R_c , infiltratie en ventilatie. Dezelfde dictionary gaat naar warmteberekening (dynamisch) en naar de ISSO-adapter (statisch); alleen de mapper verschilt per norm.

B.7 Validatie, foutafhandeling en vergelijking

Pre-flight (tekentool): verplicht oppervlak-vloer, oppervlak-muur, R_c -muur en u -glas, elk > 0 . Bij ontbreken: `INPUT_VALIDATION_ERROR` met Nederlandse `display_message`.

Adapter: ongeldige JSON of onbekende norm → HTTP 400; geen constructies af te leiden → 400; upstream onbereikbaar → 502; berekeningsfout upstream → 502 met doorgestuurde melding.

Foutcode	Oorzaak
<code>INPUT_VALIDATION_ERROR</code>	Ontbrekende of nul geometrie/isolatie
<code>KERNEL_UNAVAILABLE</code>	Adapter of Rust-kern niet bereikbaar
<code>KERNEL_OUTPUT_PARSE</code>	Ongeldig of onverwacht antwoord
<code>KERNEL_EXECUTION</code>	Rekenfout in upstream
<code>outside_netherlands</code>	Locatie buiten NL-bbox (geen berekening)

Bij een fout in de warmteverliesstap blijven de hoofdresultaten van de uursimulatie beschikbaar.

Dynamisch vs. statisch: de ISSO-berekening deelt geometrie, R_c/U , infiltratiebasis en ventilatie-minimumdebiet met de dynamische simulatie, maar modelleert geen uurlijkse bezetting, zonwinst, interne lasten, koeling, ramen open, energiesturing of PCM in de warmtebalans. Het statische ontwerpvermogen is doorgaans hoger dan het dynamische piekvermogen; de dynamische simulatie toont comfort- en CO₂-risico's die statische normen niet afdekken. Gebruik beide complementair: ISSO voor normconform aansluitvermogen, dynamisch voor jaarlijkse energie en comfort.

C Alle inputs en standaardwaarden

Deze bijlage somt de payload-parameters op. Narratieve toelichting staat in de hoofdstukken 2–7.

C.1 Verplichte en kern-parameters

Parameter	Eenheid	Beschrijving / standaard
Gebruiksoppervlakte	m ²	GBO
rc-muur/plafond/vloer	m ² K/W	uit isolatieprofiel
u-glas	W/(m ² K)	standaard 1,2 (bouwbesluit)
lucht-infiltratie	dm ³ /(s m ²)	standaard 0,4
gewenste-binnentemperatuur	°C	21,5
setpoint-koelen	°C	23
wtw-rendement-min/max	%	0 / 87
luchtdebiet-min/max	m ³ /h	auto uit profiel
klimaatstelsysteem	enum	airconditioning
klimaatsturing	enum	ruimtethermostaat_1
SCOP-verwarmen/koelen	–	3 / 4
weer-dataset	enum	weer_nen5060_energie
bezetting-profiel	enum	woning
bezetting-beginuur/einduur	uur	7–18 (woning)
ventilatiesturing	enum	profielafhankelijk
ventilatie-systeem	enum	gebalanceerd
wtw-type	enum	warmte
beglazing	enum	dubbel
grondreflectie	–	0,2 (groen)

C.2 Optionele parameters (selectie)

Parameter	Standaard	Beschrijving
ventilatie-spoel-modus	beide	verwarmen/koelen/spoel
ventilatie-temperatuursturing	retour	isotherm/retour/inblaas
zonwering-slim	false	slimme zonwering
ramen-te-openen	true	raamventilatie
ramen-te-openen-pct	20 %	fractie openbare beglazing
use-dynamic-hp-cop	false	dynamische COP
warmte-koudeopwekker-type	lucht_water	lucht/water/bron
hulpenergie-modus	forfait	geen/forfait/vast/vermogen
energiesturing-ev-actief	false	EV-laden
energiesturing-batterij-actief	false	accu
stratificatie	true (multi)	verticale stratificatie
thermal_zones[]	auto	één zone per verdieping

Volledige API-specificatie: API documentatie OC Gebouwsimulatie.pdf.