

Climatic Design Consult, 25 juni 2004

ArtEZ Faculteit Dans & Theater Arnhem

Bouwfysische uitdagingen bij ondergronds bouwen

ir. K.C.J. Nobel

ir. T.J. Haartsen

Een ondergronds gebouw heeft bouwfysisch gezien een aantal karakteristieke eigenschappen:

- beperkte mogelijkheden voor toetreding van daglicht en uitzicht;
- de temperatuur van de omgeving (grondmassa) is nagenoeg constant en ligt altijd beneden de gewenste binnentemperatuur;
- door de diepwanden kan permanent vocht toetreden;
- toe- en afvoer van ventilatielucht vinden beiden plaats op maaiveldniveau.

De kunst is nu de voordelen hiervan zoveel mogelijk te benutten en zo weinig mogelijk last te hebben van de nadelen. Verder was het streven (deels) gebruik te maken van natuurlijke ventilatie in het atrium. Onderstaand wordt toegelicht hoe met deze karakteristieke eigenschappen is omgegaan en tot welke keuzes dit heeft geleid.

Daglicht en uitzicht

Hoewel grotten en holen mensen eeuwen een dienst hebben bewezen is de natuurlijke leefomgeving van de mens in het algemeen bovengronds. Hier voelt hij zich het prettigst. Hij wil kunnen zien wat voor weer het is en de variaties van het daglichtaanbod en lichtkleur over de dag ervaren. Dat ondersteunt zijn bioritme. Ondergronds werken doe je normaal gesproken dus alleen als er een goede reden voor is of als de nadelige effecten zodanig gecompenseerd worden dat van een gelijkwaardige beleving als bovengronds gesproken kan worden. Genoeg redenen dus voor bijzondere aandacht aan de daglichttoetreding en uitzicht.

In het begin van het ontwerp is onderzocht in hoeverre daglichttoetreding aan de rand van het gebouw via schachten kon plaatsvinden. De bovengrondse gevolgen hiervan en ondergrondse constructieve aanpassingen waren echter dusdanig ingrijpend dat hiervan afgestapt is. Het atrium bleef zodoende over als enige mogelijkheid voor toetreding van daglicht en uitzicht. De gehele glaskap van het atrium is daarom voorzien van een glaspakket met een LTA(lichttoetredingsfactor) van 78%, ZTA(zontoetredingsfactor) van 51% en een kleurweergave-index voor doorzicht naar buiten van $R_a = 96$, conform de gestelde eis. Door de hoge LTA wordt zoveel mogelijk daglicht doorgelaten. De relatief lage ZTA (praktisch zo laag mogelijk met behoud van een hoge LTA) houdt zoveel mogelijk zonnewarmte buiten en de hoge kleurweergave index is vooral van belang om de hemelkleur zo natuurlijk mogelijk waar te nemen (ondersteuning bioritme).

Kristalglas voor extra goede kleurweergave.

Het glaspakket werd vanwege sterkte-eisen relatief dik, met de daarbij behorende groenverkleuring. De gelaagde binnenruiten zijn daarom van kristalglas om aan de kleurweergave eis voor doorzicht te voldoen.

Ook aan de kleurweergave in het atrium gaf de opdrachtgever hoge prioriteit. Zonder verkleuring van het licht wordt het atrium immers meer als “buiten” ervaren en objecten en mensen in het atrium behouden een natuurlijk kleur. Het kristalglas draagt al bij aan deze kleurweergave voor reflectie, maar de toe te passen HR-coating heeft eveneens significante invloed. Uiteindelijk is gekozen voor een duurdere HR-coating resulterend in een $R_a = 94$ voor reflectie van licht in het atrium.

Licht en uitzicht in de lokalen

De lichtniveaus in de ruimten zijn in het ontwerpstadium beoordeeld met behulp van lichtberekeningen. Figuur 1 geeft een voorbeeld van het resultaat van zo'n berekening.



Figuur 1. Berekeningsresultaten lichtniveau in lokalen en atrium

Ter compensatie van de belemmeringen voor daglichttoetreding in het atrium en beleving bij ondergronds verblijf is waar mogelijk toegepast:

- waarneming diep uit de lokalen van buitenlucht reflecterend in glaspuien (onder spiegelende condities) in het atrium;
- kunstlichtvoorzieningen tegen achterwand waarvan de lichtsterkte meeloopt met de verlichtingssterkte buiten.

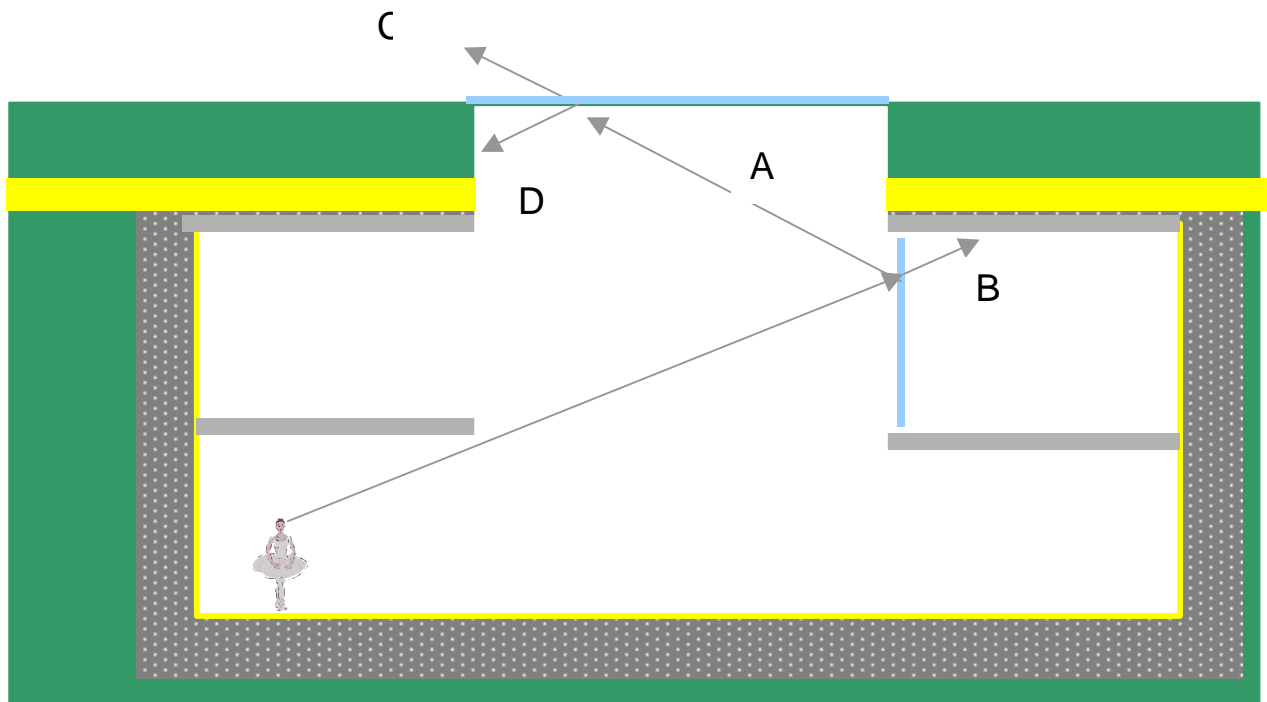
Waarneming van buitenlucht via reflecterend glas (zie ook figuur 2) is mogelijk indien wordt voldaan aan de voorwaarden dat de plaatsing van het glas zodanig is dat:

1. het glas onder spiegelende condities wordt gezien;
2. de glaskap in het gereflecteerde beeld ligt;
3. de glaskap zelf niet spiegelt maar transparant is.

Aan de eerste voorwaarde wordt sneller voldaan als het glas onder een scherpe hoek wordt gezien, omdat de reflecterende eigenschappen van glas dan aanzienlijk toenemen. Hieraan wordt echter bijna nergens in het gebouw voldaan. Aan de eerste voorwaarde wordt ook voldaan als de luminantie achter het glas lager is dan de luminantie van het gereflecteerde beeld. Een relatief hoog luminantie niveau van het gereflecteerde beeld (A) (zie figuur 2) treedt snel op bij (deels) heldere hemel of dunne bewolking. Een relatief laag lichtniveau achter het glas (B) kan bereikt worden door het onder de kijkhoek transparant laten zijn van

de lamellenzonwering in de lokalen en het afschermen van de verlichting in de lokalen, voor zover liggend in het zichtveld.

Aan de tweede voorwaarde wordt voor bijna alle in het atrium liggende ruimten voldaan. Tenslotte wordt aan de derde voorwaarde voldaan als het lichtniveau buiten (C) hoger is dan dat van binnen, voorzover vallend in het gereflecteerde beeld van de glaskap (D). Voor een groot deel van de dag wordt hieraan voldaan, zolang geen directe bezonning of sterke lichtbronnen in het atrium zelf aanwezig zijn.



Figuur 2. Waarneming buitenlucht door reflecties indien luminanties $A > B$ en $C > D$

Zonwering

Toepassing van een zo transparant mogelijke glassoort heeft als nadeel dat de ZTA-waarde niet erg laag kan zijn. Dit betekent nog steeds een vrij hoge warmtebelasting door zon in de zomer. Hiervoor wordt een effectieve zonwering gebruikt in de vorm van een licht doek, in combinatie met afvoer boven het doek van opgewarmde lucht in de zomer. Het licht doek biedt minder doorzicht naar buiten dan een donker doek, maar bij bezonning tekent de schaduw van spanten en regels duidelijker af en de zonwering hangt onder een hoek, waardoor ruimte ontstaat om nog steeds naar buiten te kunnen kijken (zie figuur..)

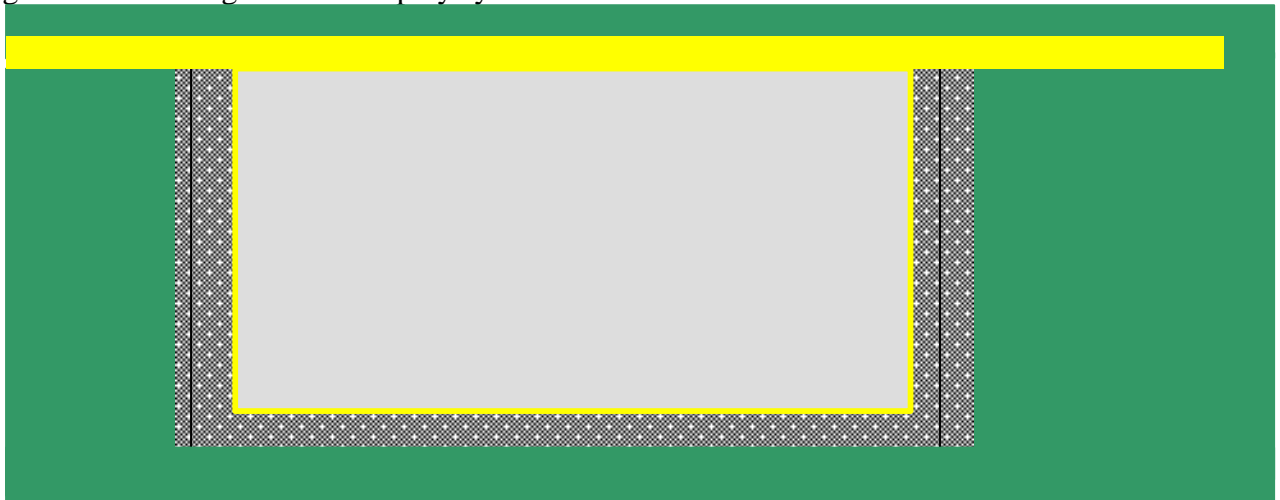
Dit lichte doek wordt 's avonds met lampen verlicht, waardoor het atrium ook in de avond als licht en ruim wordt ervaren.

Massa en isolatie

Gratis koeling

Een ondergronds gebouw met een binnentemperatuur van 20 °C of hoger wordt praktisch het hele jaar door gekoeld door de relatief koude grondmassa. De isolatie van zo'n gebouw kan geoptimaliseerd worden naar een balans tussen de vrijkomende warmte binnen en de afgevoerde warmte naar de grondmassa. In de winter moet de isolatie dus zo goed zijn dat additionele verwarming minimaal nodig is, maar moet voorkomen worden dat additionele

koeling nodig is. In de zomer moet juist de isolatie zo “slecht” zijn dat additionele koeling minimaal nodig is, maar moet voorkomen worden dat additionele verwarming nodig is. Doordat additionele koeling, in verband met de keuze van het klimaatsysteem, alleen met de ventilatielucht mogelijk is, was de hoeveelheid additionele koeling begrensd en niet individueel regelbaar. De warmtebelastingen op en in de verschillende oefenruimten mochten daarom niet te groot zijn. Verder golden randvoorwaarden voor de oppervlaktetemperaturen van de achterwanden uit comfortoverwegingen en ter voorkoming van condens/schimmelgroei. Duidelijk werd dat men het gebouw eigenlijk liever niet van de grond wilde isoleren, maar wel van de buitenlucht. Hieruit ontstond de oplossing de grond rondom het gebouw zoveel mogelijk te voorzien van horizontale isolatie (zie figuur 3). Dit is gerealiseerd met geëxtrudeerd polystyreen.



Figuur 3. Warmte en koude-opslag in de bodem, een spouw en beperkt isoleren door horizontale isolatie.

Bouwbesluit

Daarmee waren we er nog niet, want in het Bouwbesluit wordt immers een eis gesteld aan de isolatie van uitwendige scheidingsconstructies (minimale R_c -waarde = 2,5 W/m²K). Bij grote vloervelden draagt deze isolatie maar weinig bij aan het beperken van de werkelijke transmissieverliezen in de winter. Het is dan ook niet nodig daarvoor dezelfde isolatie-eisen te hanteren als bij een bovengrondse gebouwen. Met behulp van driedimensionale berekeningen is door CDC aangetoond dat voor dit ondergrondse schoolgebouw het alleen isoleren van de grondmassa tot ca. 5 meter buiten het gebouw leidt tot een vergelijkbare energiezuinigheid. Hierbij moest bij de bouwaanvraag wel een beroep worden gedaan op het gelijkwaardigheidbeginsel. Daar waar dit principe lokaal om praktische redenen niet mogelijk was is de diepwand tot een diepte van 5 meter geïsoleerd.

Vocht

De buitenwanden van het gebouw (diepwanden) zijn / blijven vochtig door doorslag, bouwvocht en condensatie. Om overlast te voorkomen worden rond het gebouw een spouw en een kruipruimte toegepast (zie figuur 3). Het water dat eventueel langs de diepwand naar beneden loopt wordt opgevangen in een goot en wordt op het diepste punt leeggepompt. Om te voorkomen dat relatief vochtige lucht uit de spouw in de leslokalen komt, is de luchtdruk in de spouw iets lager dan in de leslokalen. Een ventilator houdt dit kleine drukverschil in stand. De spouw en kruipruimte worden tevens gebruikt voor transport van verse lucht door kanalen, cv-water, elektra, data e.d. De kruipruimte wordt verder gebruikt voor zomerventilatie van het atrium.

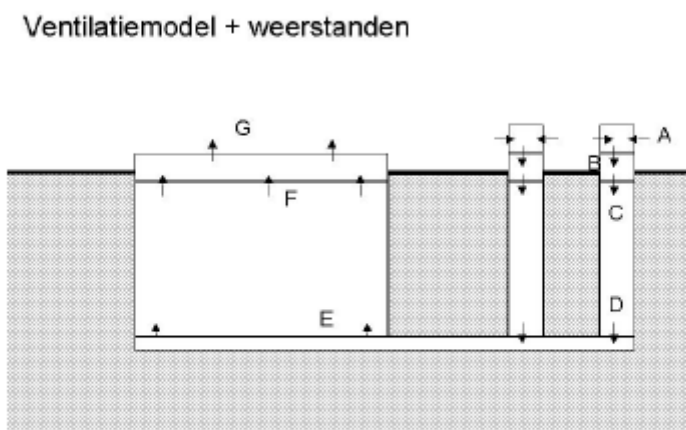
Zomerventilatie Atrium

Het atrium wordt in de zomer op natuurlijke wijze geventileerd met buitenlucht om overtollige warmte af te voeren. Nu is een ondergronds gebouw niet een voor de hand liggend gebouw waarbij je natuurlijke ventilatie kunt toepassen, omdat:

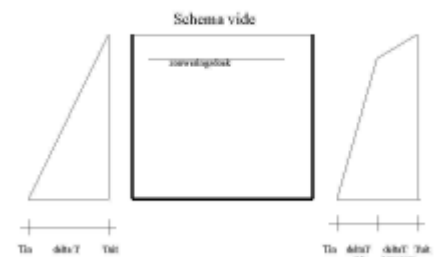
- er geen hoogteverschil bestaat tussen de lucht toe- en afvoer;
- er geen grote drukverschillen ontstaat over gevels of dak door wind.

Wat er echter wel is, is een verschil tussen de temperatuur van de lucht die uit het atrium afgevoerd moet worden en de buitenlucht of bodemtemperatuur. Dit verschil is het grootst op momenten dat het atrium door de zon in de zomer wordt opgewarmd en dus geventileerd moet worden. Door er nu voor te zorgen dat de buitenlucht via twee schachten zo koud mogelijk in de kruipruimte kan stromen ontstaat toch voldoende drukverschil tussen de luchtkolommen in de schachten en in het atrium om natuurlijke ventilatie in een groot deel van de zomer mogelijk te maken. De twee schachten grenzen aan de relatief koude diepwand aan de noordzijde van het gebouw (zie figuur 4) en de lucht wordt daarna door de relatief koude kruipruimte naar het atrium gevoerd.

Op momenten dat het natuurlijke drukverschil onvoldoende is voor de natuurlijke ventilatie worden hulpventilatoren ingezet. Dit komt vooral voor bij langdurig hoge buitentemperaturen. Dezelfde ventilatoren, schachten en kruipruimte worden ook ingezet voor het afvoeren van rook bij brand.



HFA Onderlangs Amheer.
CDC, 29 februari 2002



Figuur 4 Model zomerventilatie atrium

Resumé

Zolang men zich goed realiseert welke karakteristieke bouwfysische randvoorwaarden het ondergronds bouwen met zich mee brengt en de regels die voor bovengrondse gebouwen zijn ontwikkeld niet zondermeer hierop toepast, kunnen de voordelen maximaal worden benut en de nadelen worden geminimaliseerd of gecompenseerd. De beleving van een ondergronds gebouw kan dan net zo aantrekkelijk zijn als een bovengrondsgebouw.

Nadere inlichtingen:

Klaasjan Nobel, kjnobel@climaticdesign.nl

tel 024 - 3 780 630

www.climaticdesign.nl