

**Bijlagen bij
Deel A: Kew-deel**

Bijlage A22:

Jaardosis ruimten

Ten geleide

De berekeningen in de **Bijlage Afschermingsberekeningen Protonen** zijn gebaseerd op een aantal van 1050 patiënten volgens een mix van indicaties die door de klinische staf van de HollandPTC partners als realistisch is vastgesteld.

Tot 2020 zal het aantal patiënten in HollandPTC door middel van de WBMV vergunning gelimiteerd zijn, maar in principe kan HollandPTC in de huidige configuratie protonetherapie aanbieden aan deze 1050 patiënten (waarvan 950 patiënten op de beide gantries en 100 oogpatiënten).

Het is niet het aantal patiënten alléén dat het uiteindelijke gebruik aan protonen, en daarmee de dosis naar medewerkers en omstanders, bepaalt. Het daadwerkelijk gebruik van protonen zal afhangen van toekomstige verbeteringen in de efficiency in de behandelruimte en toekomstige ontwikkelingen in behandelprotocollen, zoals hypo-fractionering waarin grotere dosis per fractie (en minder fracties per patiënt) worden gebruikt. Er dient daarnaast onder andere rekening gehouden te worden met bundelgebruik voor kwaliteitscontrole.

Dit document geeft een overzicht van de te verwachten dosis binnen, en buiten HollandPTC, onder enkele aannames betreffende klinisch, fysisch en R&D gebruik.

Dit document houdt daarnaast ook rekening met dosisbijdragen van:

- Beeldvormingsmodaliteiten in het imagingblok van HollandPTC
- Reactor Instituut Delft

De dosisbeeldvormingsmodaliteiten in de bestralingsbunkers zijn niet gemodelleerd. De bijdrage van deze bronnen aan dosis buiten de bunkers is nihil, zie Bijlage "Afschermingsberekeningen Röntgentoestellen".

Aannames betreffende bundelgebruik

Tabel 1 hieronder geeft een overzicht van de gebruikte 'correctiefactoren' ten aanzien van het gebruik van protonen. Deze correctiefactoren zijn in de alle dosisplaatjes in dit document in rekening gebracht.

Tabel 1: 'Correctiefactoren' bundelgebruik, per bunker

	R&D	Gantry 1	Gantry 2	Oogbunker
Veiligheidsfactor	2	2	2	2
Workloadfactor	1	3	3	1.5
Aperture factor	1	1.5	1.5	1.05
Overig factor	6	1	1	3

Veiligheidsfactor: Voor het in rekening brengen van een algemene veiligheidsmarge.

Workloadfactor: Voor het in rekening brengen van toename in aantal fracties per jaar en de gemiddelde dosis per fractie, alsmede kwaliteitscontrole.

- Aperture factor:** Voor mogelijk gebruik van hoge-Z apertures in de gantry, en zeker gebruik van apertures in de oogbundel.
- Overig factor:** Met name gericht op bundelgebruik voor R&D.

Overzicht bronlocaties

Hier volgt eerst een overzicht van alle bronlocaties op HollandPTC en de gestelde dosislimieten. Deze locaties zijn ook gepresenteerd op de daaropvolgende 2D plots van verblijfsfactoren en jaardosis.

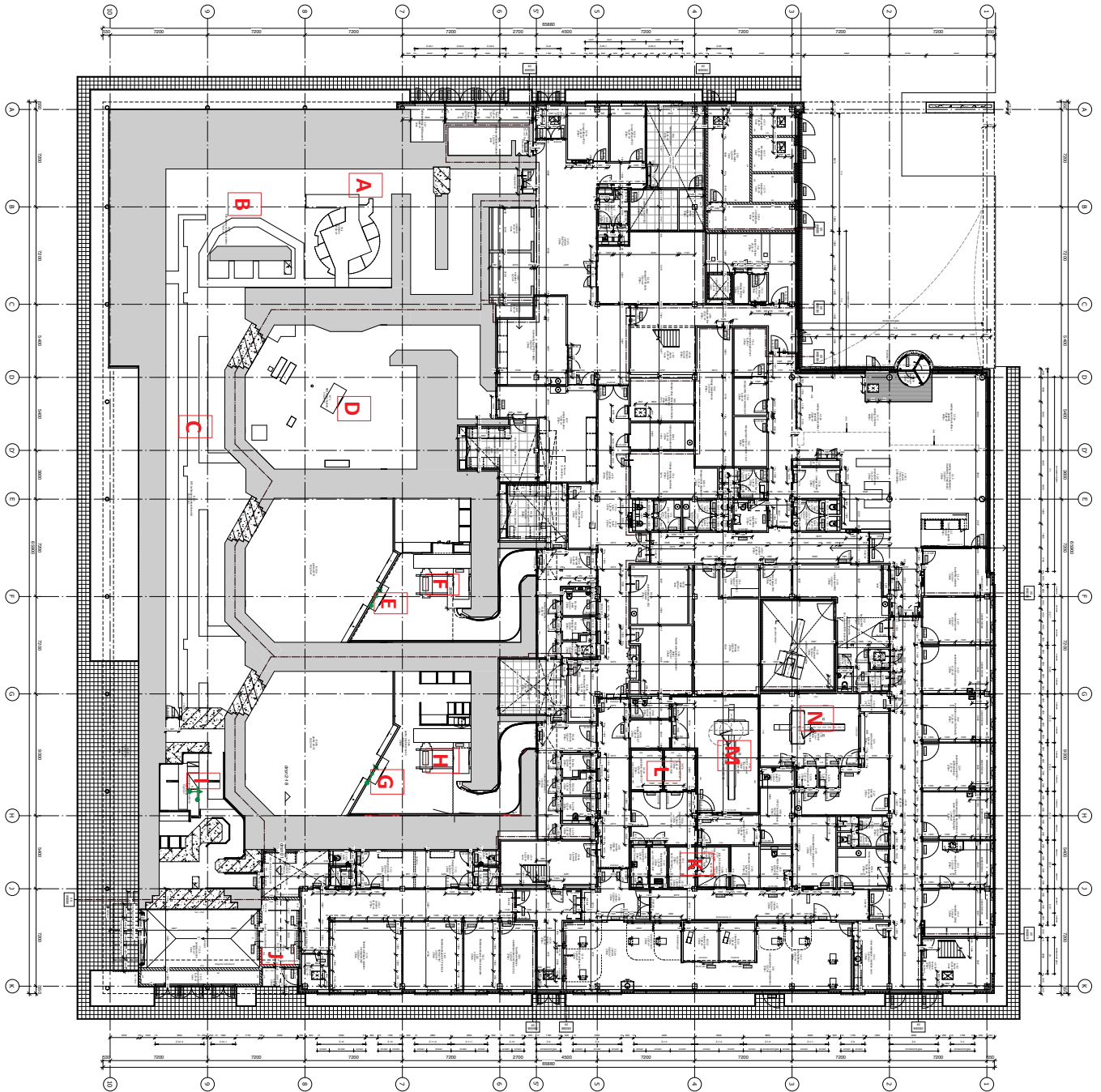
De plattegronden in deze sectie bevatten veel detail en kunnen het beste op groot formaat uitgeprint worden.

- Voor de protontherapie bundellijn als geheel (cyclotron, bundelgang, gantries, oogbunker en R&D bunker, in-room CTs en in-room Röntgentoestellen voor orthogonale beeldvorming) is de doeldosislimiet 0.1 mSv per jaar op enig locatie binnen en net buiten het HollandPTC gebouw (DD-a).
- Voor alle bronnen in het beeldvormingsblok is de doeldosis op 0.1 mSv per bron per jaar gesteld (DD-b).
- Voor de onderzoekslaboratoria op de eerste verdieping geldt een praktische handhavinglimiet van 1 micro-Sievert per uur op enige locatie die vrij toegankelijk is (DD-c).

Locatie	Omschrijving	Afscherming	Doeldosis
A	Cyclotron. 230 MeV, maximale stroom 500 nA.	Beton	DD-a
B	Energie selectie systeem (ESS). Hier wordt de bundelenergie verlaagd tot de gewenste energie voor de behandeling.	Beton	DD-a
C	Bundelgang. Hier wordt de bundel verder getransporteerd naar de diverse behandelbunkers	Beton	DD-a
D	R&D bunker. Hier komt een protonen pencil beam binnen waarvan de energie en intensiteit geselecteerd kan worden. Deze bunker wordt gebruikt voor experimenten.	Beton	DD-a
E	Gantry 1. Bestralen van patiënten. De pencil beam wordt magnetisch gedeflecteerd zodat variabele veldgroottes toegepast kunnen worden. De positie van de bundel wordt door het ESS in de dieperichting aangepast. Rond de patiënt zijn twee Röntgenbuizen voor orthogonale positieverificatie van de patiënt.	Beton	DD-a
F	In-room CT in gantry 1. Gebruikt voor 3D beeldvorming van de patiënt voorafgaand aan een bestralingsfractie.	Beton	DD-a
G	Gantry 2. Zie gantry 1	Beton	DD-a
H	In-room CT in gantry 2. Zie in-room CT in gantry 1	Beton	DD-a
I	Oogbunker. Hier worden tumoren in het oog	Beton	DD-a

	bestraald. In deze bunker worden ook twee Röntgenbuizen gebruikt voor orthogonale positieverificatie van het oog, door middel van tantalum clips die chirurgisch aan het oog zijn bevestigd.		
J	FDG leverancierskluis. Twee keer per dag levering van maximaal 9,126 GBq FDG in voorgevulde spuiten. Verblijfstijd in kluis << 30 minuten.	Lood	DD-b
K	PET hotlab. Opslag van spuiten en afval. Gemiddelde activiteit over een dag met volledig gebruik van de PET is 3333 MBq (tussen 7:00 en 15:00). Daarbuiten worden hier de ingekapselde FDG calibratiebronnen opgeslagen (⁶⁸ Ge. Twee bronnen van 46.25 MBq, en één van 92.5 MBq).	Robaliet	DD-b
L	Twee toedien-/rustruimtes. Bij een volledig PET programma is de gemiddelde activiteit, in beide ruimtes gecombineerd, 230 MBq tussen 8:00 en 16:00), en 0 MBq daarbuiten.	Robaliet	DD-b
M	PET-CT scanner. Gemiddelde FDG activiteit bij een volledige programma is 320 MBq tussen 8:00 en 17:00.	Robaliet	DD-b
N	Diagnostische CT-scanner.	Lood	DD-b
O	Onderzoekslaboratorium. Gebruik en (tijdelijke) opslag van kleine ingekapselde calibratiebronnen, van maximaal enkele MBq elk.	Beton	DD-c
P	Onderzoekslaboratorium. Gebruik en (tijdelijke) opslag van kleine ingekapselde calibratiebronnen, van maximaal enkele MBq elk.	Beton	DD-c

Begane grond



1^e verdieping



Verblijfsfactoren

De berekening van door medewerkers en overige aanwezigen mogelijk op te lopen dosis (op jaarbasis) dient ook rekening te houden met verblijfsfactoren.

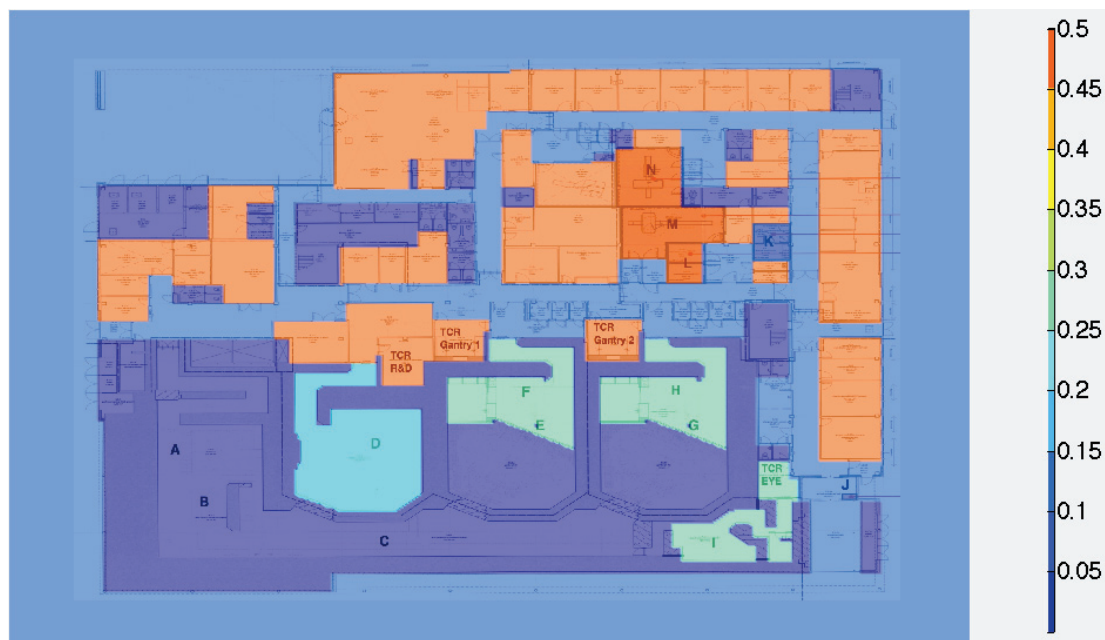


Fig. 1: Verblijfsfactoren begane grond HollandPTC. De maximale waarde is 0.5 (zie toelichting in de tekst). De locatie van de controlekamers (TCR) van de verschillende bunkers is specifiek aangegeven omdat deze ruimtes de hoogste mogelijke jaardosis hebben en ook de hoogste verblijfsfactor.

De berekeningen in de Bijlage Afschermingsberekeningen Protonen, die ten grondslag liggen aan de analyse in dit document, gaan uit van het volledige klinische programma van 88 uur per week, met daarnaast 16 uur per week aan R&D bundeltijd. De basis verblijfsfactoren (1, 1/4 voor gangen e.d., 1/16 voor trappen, kasten, e.d.) zijn met een factor twee verlaagd omdat een typische werkweek 40 uur betreft. Daarnaast zijn specifiek de verblijfsfactoren voor de bunkers (het gedeelte van de bunkers dat voor klinisch en R&D gebruik toegankelijk is) aangepast aan de realiteit, te weten:

R&D bunker: Gebruik van de R&D bunker komt neer op 2 shifts van 8 uur per week op tijden die niet overlappen met het klinische programma. Op deze momenten bevindt het personeel zich danwel in de controle kamer, danwel in de R&D bunker (waarbij dan uiteraard niet gestraald wordt). Voorbereidingen voor experimenten zullen hoofdzakelijk plaatsvinden in de laboratoria op de eerste verdieping van HollandPTC en extern. Aanname is dat R&D personeel op de dag van zo'n shift 8 uur in de R&D bunker doorbrengt ten tijde van het klinische programma, ter voorbereiding van de experimenten. Vandaar een verblijfsfactor van 0,2 (16/88).

- Gantry bunkers:** - Slechts een deel van de gantry bunkers is toegankelijk voor personeel ('bovenste deel', dichtste bij het doolhof, in Fig. 1). - Personeel bevindt zich tijdens klinische uren alleen in de bunker voor het begeleiden van de patiënt. Voor beeldvorming en tijdens de bestraling (gezamenlijk goed voor meer dan de helft van de tijd) bevindt het personeel zich in de controlekamer. Vandaar een verblijfsfactor van 0,25 ($0.5 / 2$). - Individuele patiënten bevinden zich slechts zeer kort in de bunker.
- Het onderhoudspersoneel bevindt zich, tijdens het klinische programma, slechts zeer sporadisch in het achterste bunkergedeelte. Deze verblijfsfactor is op 1/32 gezet, wat overeenkomt met gemiddeld een half uur per dag.
- Oogbunker:** Het klinische programma van de oogbunker is zeer beperkt. De maximaal 100 patiënten per jaar vergen gemiddeld 1 uur per dag aan bestralingstijd. Daarnaast nog gemiddeld een uur per dag voor kwaliteitscontrole. Aannee is dat daarnaast maximaal 12 uur per week bundeltijd gebruikt wordt voor overige activiteiten (onderzoek e.d.). Tijdens al deze activiteiten zal het personeel zich hoofdzakelijk in de controlekamer bevinden. Individuele patiënten bevinden zich slechts zeer kort in de bunker. Verblijfsfactor: 0,25 ($22/88$).
- Overige bewaakte zones:** Voor zones die alleen toegankelijk zijn voor onderhoudspersoneel van de leverancier van de protonentherapie apparatuur (Cyclotron, bundelgang) is de verblijfsfactor nul omdat dit personeel zich tijdens actief gebruik van de protonentherapie apparatuur niet op deze locaties bevinden. Verblijfsfactor 0.

Jaardosis buiten de behandelbunkers

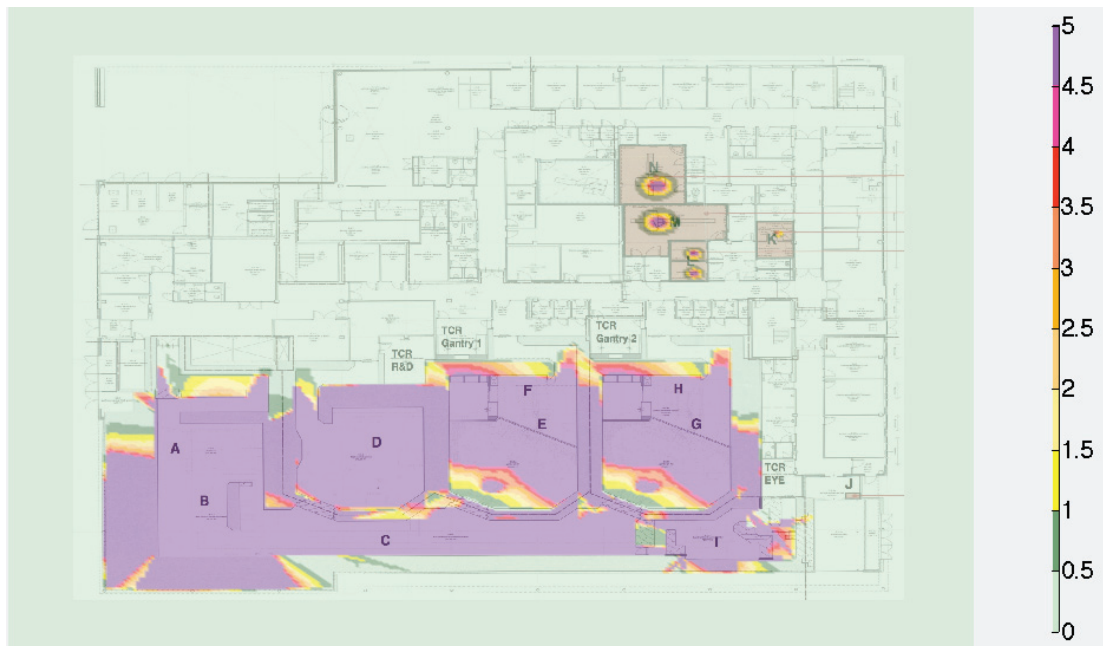


Fig. 2: Totale jaardosis in en rond HollandPTC. Dosis in mSv per jaar. De paarse kleur geldt voor alle waarden boven de 4.5 mSv. Alleen voor deze plot is de verblijfsfactor bij het cyclotron (A), energie selectie systeem (B) en bundelgang (C) op één gezet, ter begeleiding van het oog.

De jaardosis is overal kleiner dan 0.5 mSv en typisch kleiner dan 0.1 mSv. Dat wil zeggen; op locaties buiten de behandelbunkers en buiten de ruimtes in het imagingblok waar zich bronnen bevinden.

Imagingblok en bijdrage van het RID



Fig. 3: Totale jaardosis als gevolg van handelingen in het imagingblok, inclusief de bijdrage van het RID. Dosis in mSv per jaar. De paarse kleur geldt voor alle waarden boven de 4.5 mSv.

Het imagingblok is alleen overdag in gebruik. Bovenstaand figuur geeft de jaardosis weer voor personen die overdag werken. De jaardosis is nergens buiten de ruimtes waar zich bronnen bevinden boven de 0.5 mSv, en typisch lager dan 0.1 mSv.

Jaardosis in de R&D bunker



Fig. 4: Totale jaardosis in de R&D bunker. Dosis in mSv per jaar. De paarse kleur geldt voor alle waarden boven de 4.5 mSv.

De jaardosis is overal in de R&D bunker lager dan 0.5 mSv.

Jaardosis in gantry 1



Fig. 5: Totale jaardosis in Gantry 1. Dosis in mSv per jaar. De paarse kleur geldt voor alle waarden boven de 4.5 mSv.

De jaardosis in de gantry bunker is kleiner dan 0.5 mSv.

Jaardosis in gantry 2



Fig. 6: Totale jaardosis in Gantry 2. Dosis in mSv per jaar. De paarse kleur geldt voor alle waarden boven de 4.5 mSv.

De jaardosis in de bunker is kleiner dan 0.5 mSv.

Jaardosis in oogbunker



Fig. 7: Totale jaardosis in de oogbunker. Dosis in mSv per jaar. De paarse kleur geldt voor alle waarden boven de 4.5 mSv.

De jaardosis in de bunker is kleiner dan 0.5 mSv.

Modelering in verticale richting

In verticale richting zijn geen detailberekeningen daar de vectoren niet in één vlak liggen. Een kwalitatieve analyse volgt, met de figuren in deze bijlage als basis. Tabel 2 hieronder geeft de muurdiktes in het horizontale vlak en verticale vlak weer.

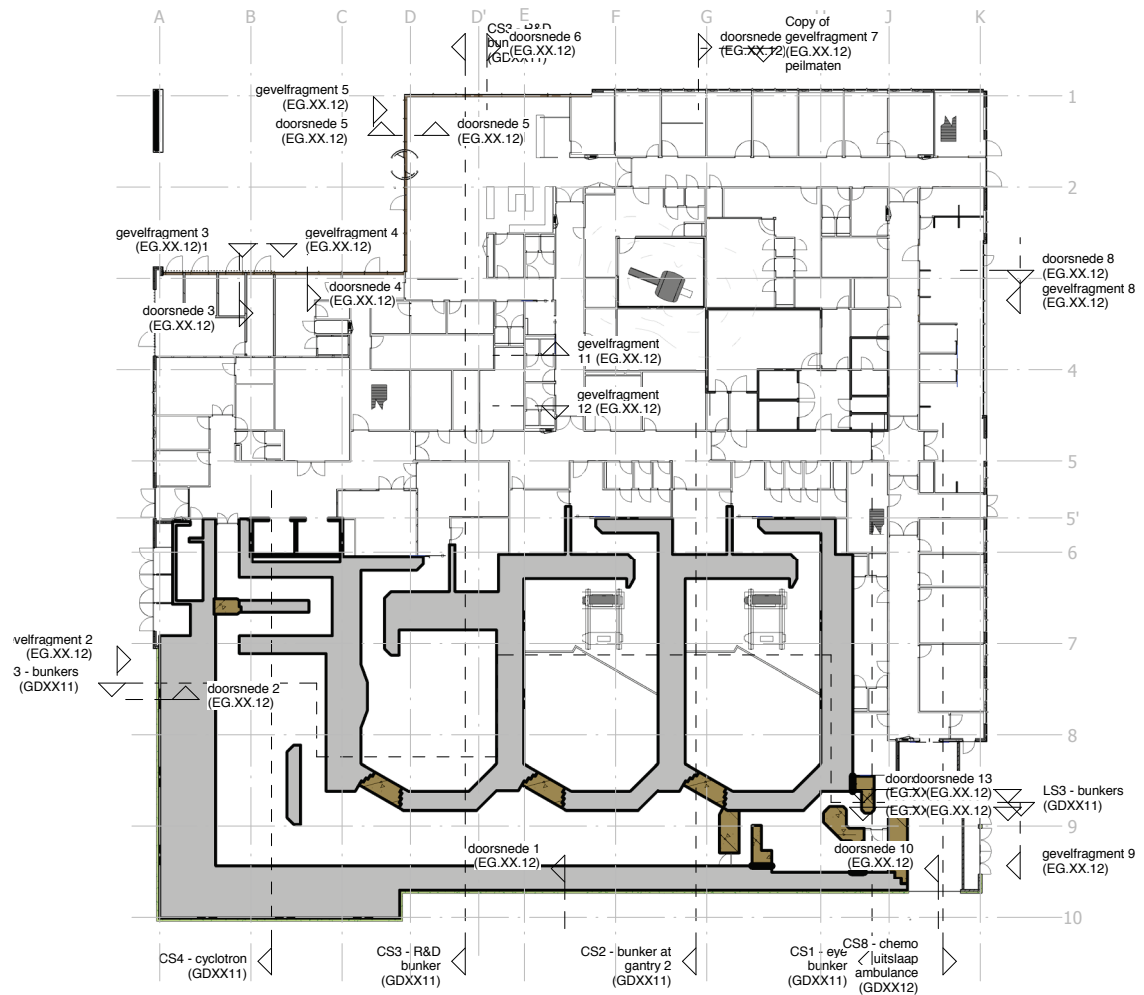


Fig. 8 geeft een overzichtsplattegrond van de gepresenteerde doorsneden.

Tabel 2: Muur- en plafonddiktes bunkergedeelte HollandPTC. Richting 'noord' is gedefinieerd als 'naar boven' in fig. 2 t/m fig. 6, dus richting het doolhof van de bunkers.

Locatie	Richting	Dikte
Cyclotron	Maze tot.	3.7
	Noord	3.7
	Oost	2.75
	West	4.4
	Zuid	4.2
	Dak	2.15
	Dak ESS	3.9
Beam line	Noord	1.5
	Oost	1.5
	Zuid	2
	Dak	2
R&D room	Maze noord muur	1.05
	Noord	3
	Oost	2.15
	Zuid	1.5
	West	2.75
	Dak	2
Gantry	Maze noord muur	1.05
	Noord	2
	Oost, gantry 1	2.15
	Oost, gantry 2	2.5
	Zuid bg	1.5
	Zuid 1e vrdp	2
	West	2.15
	Dak	2
Eye room	Maze	nvt
	Noord	1.5
	Oost	1.5
	Zuid	1.5
	Dak	2

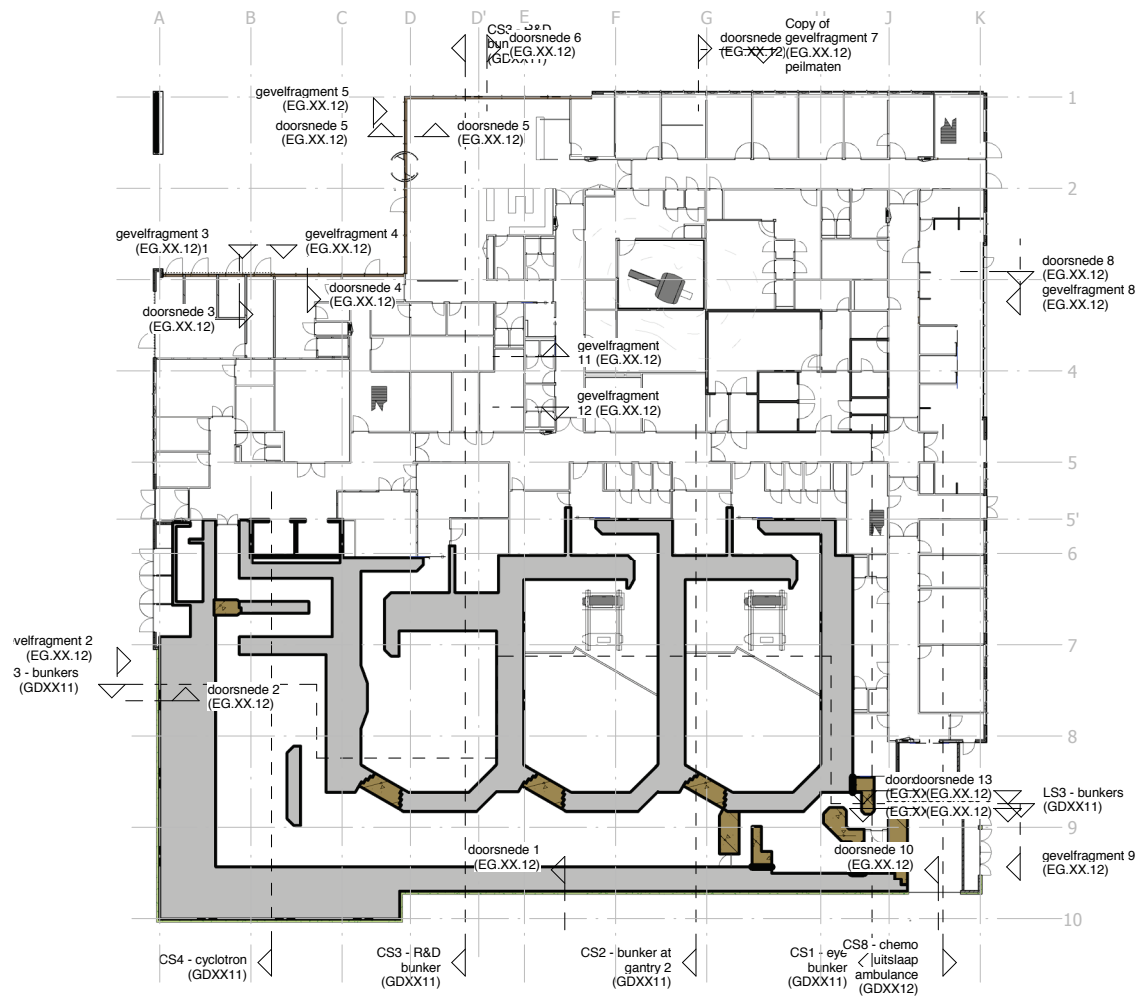


Fig. 8: Overzichtsplattegrond doorsnedes HollandPTC

Cyclotron:

Referentiewaarde: De jaardosis in de richting van het doolhof is na twee van de drie muren (2.3 meter beton, vergelijkbaar met de dakdikte van 2.15 meter) onder de 1.5 mSv (zie Fig. 2).

Bovendien:

- Dichtstbijzijnde werkplekken en overige functionele ruimtes bevinden zich schuin boven het cyclotron in plaats van loodrecht boven het cyclotron. De extra afscherming door schuine inval leidt tot een verlaagde jaardosis.
- het stralingsbeschermingsbeleid dat er geen actieve bundel is in ruimtes waarboven op het dak gewerkt wordt (verblijfsfactor 'nul').

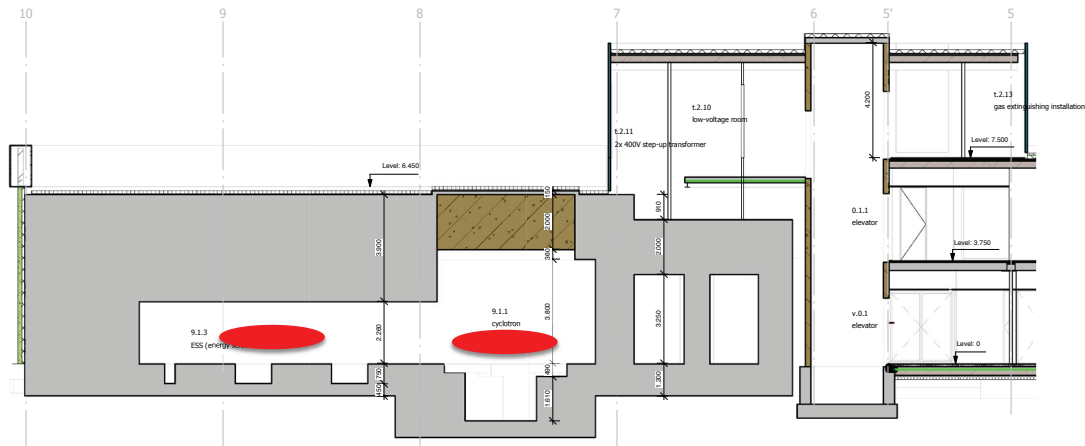


Fig. 9: Dwarsdoorsnede door cyclotron en ESS (referentie CS4 in

A B C D E F G J K
 CS4 doorsnede 6
 Copy of
 doorsnede gevelfragment 7

Energie selectie systeem (ESS)

Referentiewaarde: De dakdikte van 3,9 meter komt goed overeen met de dikte van de zuidmuur van de cyclotronruimte (zie tabel 1). In Fig. 2 is de jaardosis aldaar lager dan 0,5 mSv.

Bovendien:

- De protonen worden in het ESS in het horizontale vlak afgeremd, in de richting van de zuidmuur. Gezien de hoekafhankelijkheid (zie fig. 4) is de bronterm in de richting van het dak een orde van grote kleiner en is de referentiewaarde een overschatting.
- Er zijn geen werkplekken of overige functionele ruimtes in de buurt van het ESS (zie Fig. 8).
- het stralingsbeschermingsbeleid dat er geen actieve bundel is in ruimtes waarboven op het dak gewerkt wordt (verblijfsfactor 'nul').

R&D bunker

Referentiewaarde: Het dak van de R&D bunker is slechts 15 cm dunner dan de oostmuur van deze bunker. De jaardosis in gantry 1, als gevolg van bestralingen in de R&D bunker, is lager dan 0,5 mSv (zie Fig. 5).

Bovendien:

- Dichtstbijzijnde werkplekken en overige functionele ruimtes bevinden zich schuin boven de R&D bunker in plaats van loodrecht boven het cyclotron. De extra afscherming door schuine inval leidt tot een verlaagde jaardosis. (zie Fig. 11).
- het stralingsbeschermingsbeleid dat er geen actieve bundel is in ruimtes waarboven op het dak gewerkt wordt (verblijfsfactor 'nul').

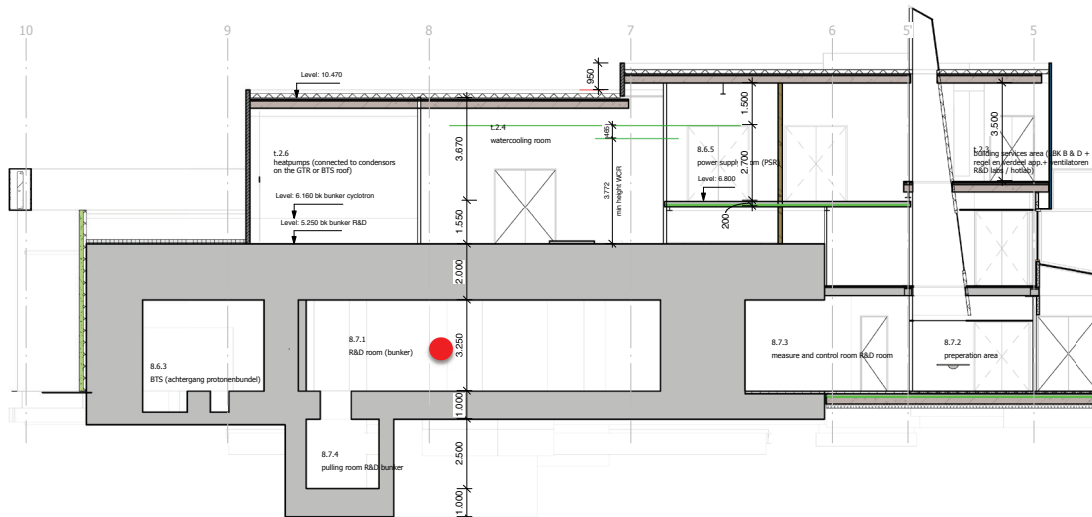


Fig. 11: Dwarsdoorsnede door de R&D bunker (referentie CS3 in

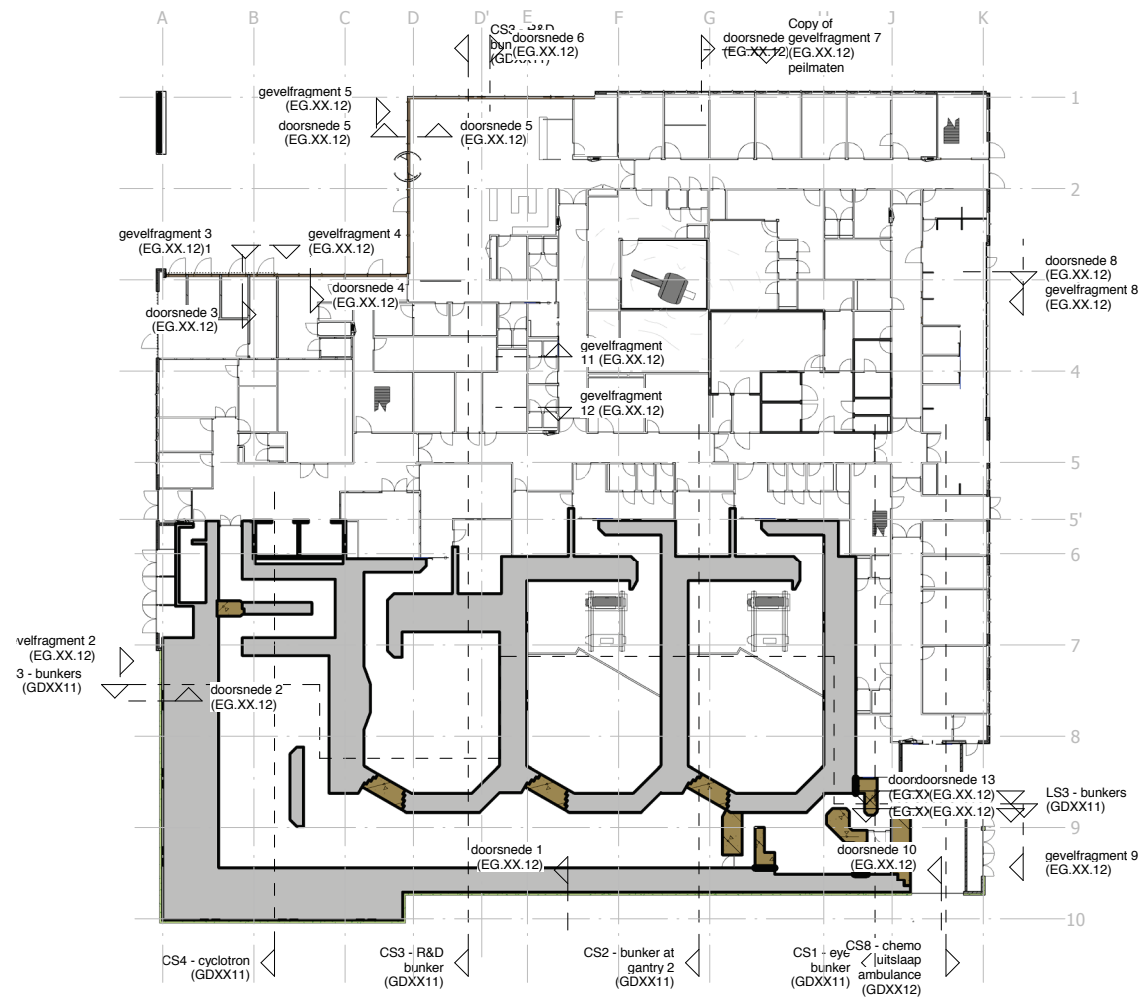


Fig. 8)

Gantries

Referentiewaarde: Het dak van de gantry bunker is slechts 15 cm dunner dan de oostmuur van deze bunker. De jaardosis in gantry 2, als gevolg van bestralingen in gantry 1, is lager dan 0.5 mSv (zie Fig. 6).

Bovendien:

- Dichtstbijzijnde werkplekken en overige functionele ruimtes bevinden zich schuin boven de gantry bunker in plaats van loodrecht erboven. De extra afscherming door schuine inval leidt tot een verlaagde jaardosis. (zie Fig. 12).
- het stralingsbeschermingsbeleid dat er geen actieve bundel is in ruimtes waarboven op het dak gewerkt wordt (verblijfsfactor 'nul').

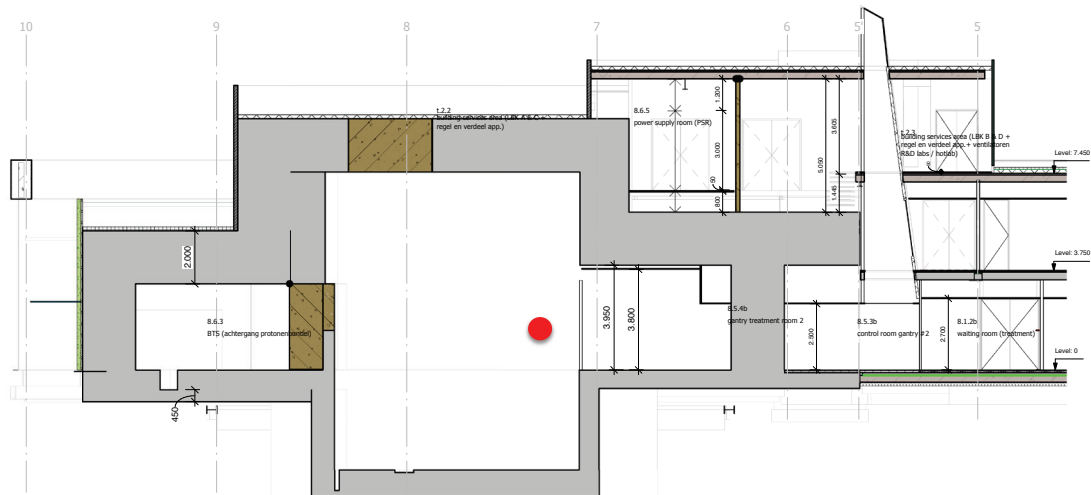


Fig. 12: Dwarsdoorsnede door de gantry bunker (referentie CS2 in

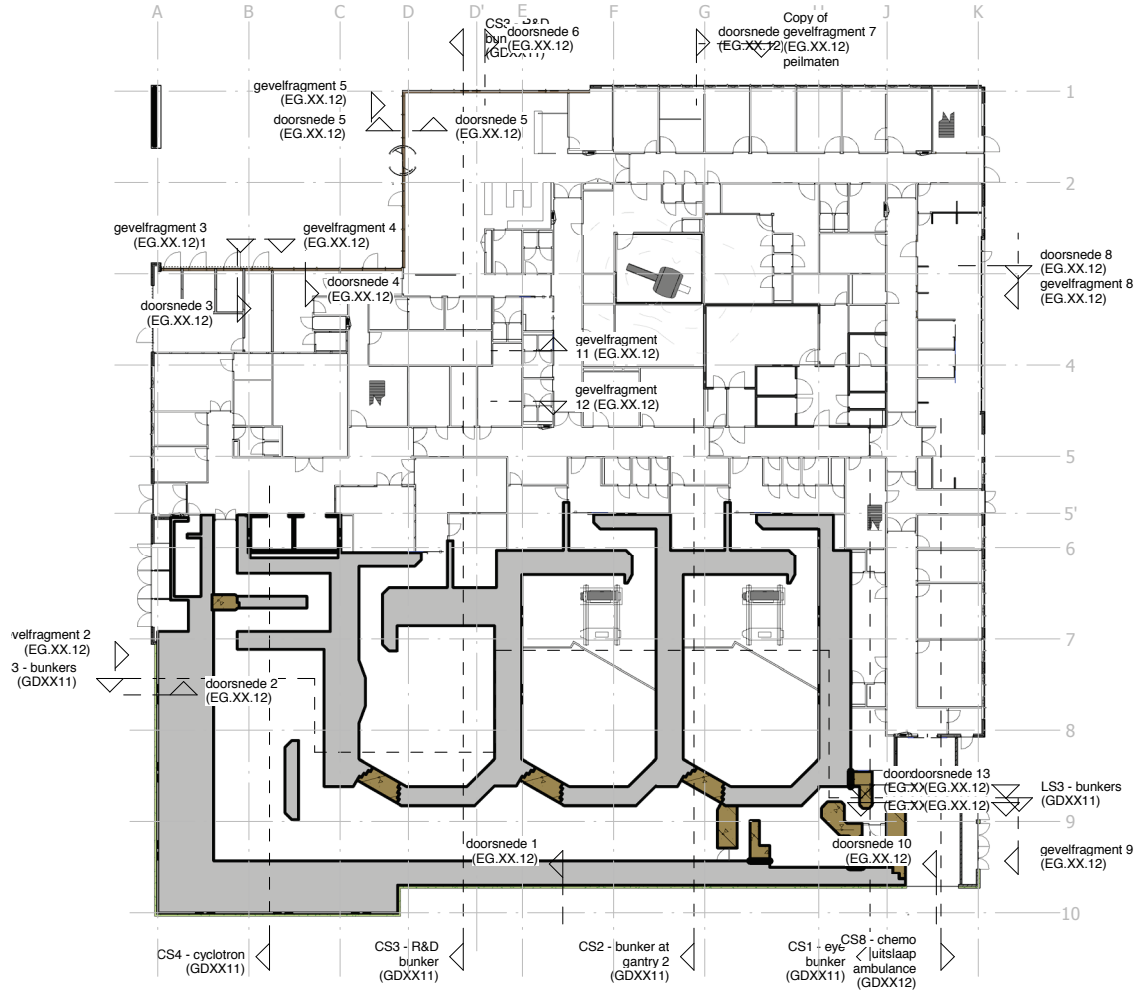


Fig. 8). De rode stip geeft de locatie van het isocentrum aan, waar de protonen in de patiënt stoppen.

Oogbunker

Referentiewaarde: Het dak van de oogbunker (2 meter) is 50 cm dikker dan de zuidmuur van deze bunker. De jaardosis net buiten de zuidmuur is lager dan 0.5 mSv (zie Fig. 2).

Bovendien:

- Dichtstbijzijnde werkplekken en overige functionele ruimtes bevinden zich op grote afstand van en schuin boven de oogbunker in plaats van loodrecht erboven. De extra afscherming door schuine inval leidt tot een verlaagde jaardosis. (zie Fig. 12).
- het stralingsbeschermingsbeleid dat er geen actieve bundel is in ruimtes waarboven op het dak gewerkt wordt (verblijfsfactor 'nul').

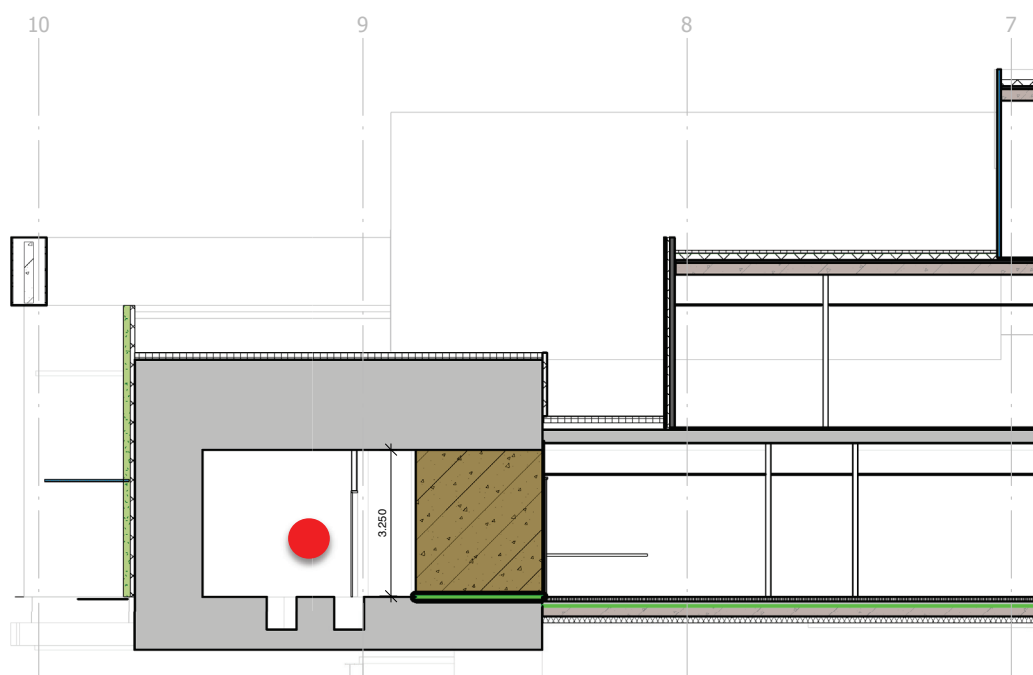


Fig. 13: Dwarsdoorsnede door de oogbunker (referentie CS1 in

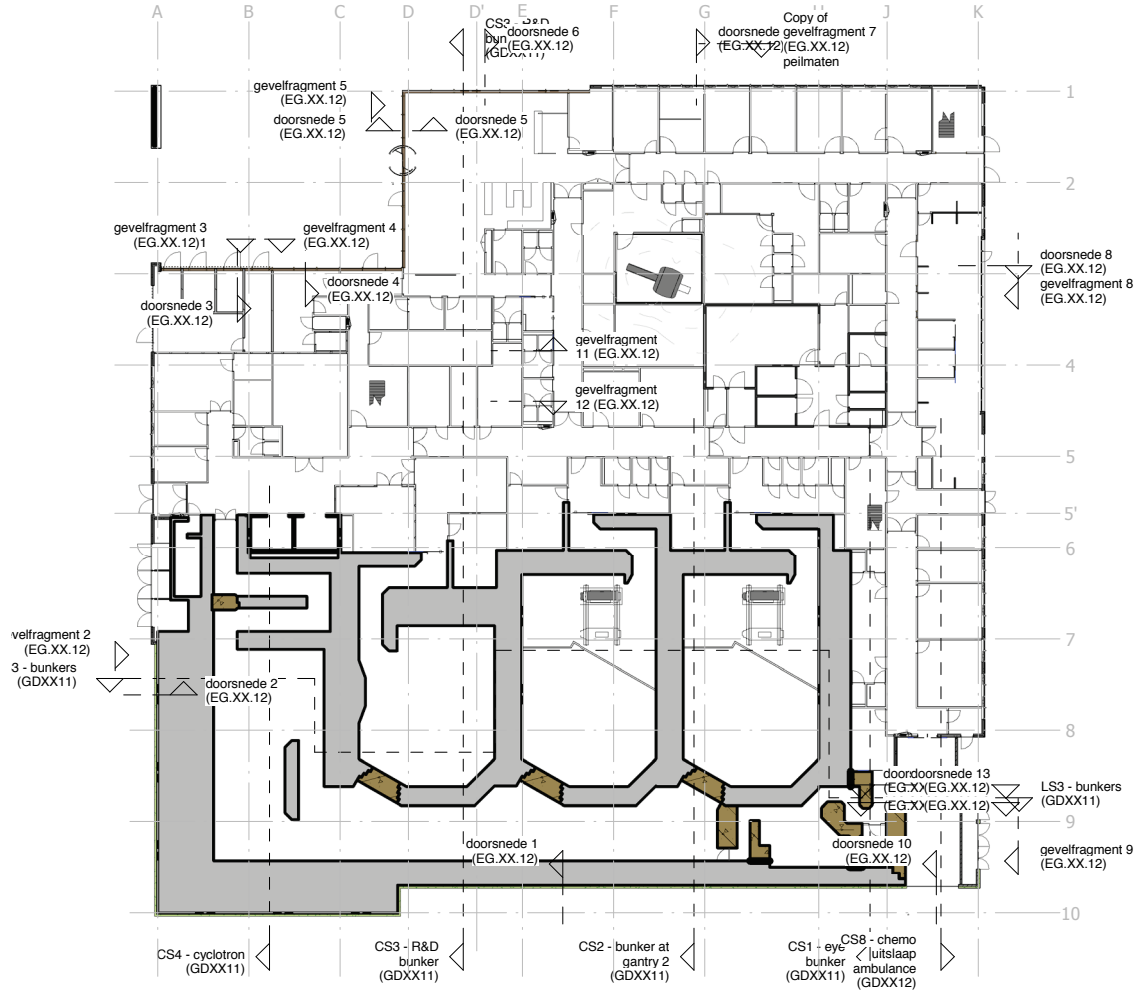


Fig. 8). De rode stip geeft de locatie aan waar de protonen in de patiënt stoppen.