VBI Ontwikkeling BV

HAN University of Applied Sciences

Ruben Buunk (551969)

Esmee Heebing (524964)

Scriptie

Remontabel ontwerpen met kanaalplaten

Design for Reassembly

februari 2017 - juni 2017 Huissen

AFSTUDEERPROJECT
Remontabel ontwerpen met kanaalplaten
Design for Reassembly
Scriptie

AUTEURS:
Ruben Buunk
Studentnummer: 551969
rubenbuunk@hotmail.com

Esmee Heebing
Studentnummer: 524964
esmee.heebing@hotmail.com

ORGANISATIES:
HAN University of Applied Sciences
Opleiding: Bouwkunde
Afstudeerrichting: Constructie
Eerste begeleider: Ellen Rutgers
Tweede begeleider: Okke Boom

VBI Ontwikkeling BV
Bedrijfsbegeleider: Ronald Klein-Holte

Huissen, mei 2017

VOORWOORD

Ter afsluiting van de opleiding bouwkunde aan de Hogeschool van Arnhem en Nijmegen hebben wij met veel enthousiasme deze scriptie geschreven. In overleg met VBI Ontwikkeling BV te Huissen is het afstudeeronderwerp "Remontabel ontwerpen met kanaalplaten" gekozen. De vraag om demontabel te bouwen is ontstaan vanuit de markt. In de eerste fase van het onderzoek is besloten dit uit te breiden tot remontabel ontwerpen.

Het afstudeeronderzoek is uitgevoerd bij de afdeling Research & Development bij VBI Ontwikkeling BV te Huissen in de periode van februari tot en met juni 2017. Bij deze willen wij onze collega's bij VBI bedanken voor de prettige werksfeer en inspiratie. In het bijzonder willen wij Ronald Klein-Holte, onze bedrijfsbegeleider bij VBI, bedanken voor het meedenken en de prettige samenwerking en Thies van der Wal voor zijn enthousiasme en inspiratie. Daarnaast willen wij onze afstudeerbegeleiders van de HAN, Ellen Rutgers en Okke Boom, bedanken voor hun begeleiding en ondersteuning.

Wij hopen dat dit rapport duidelijk maakt dat met kleine aanpassingen in het ontwerp kanaalplaten eenvoudig hergebruikt kunnen worden.

Ruben Buunk & Esmee Heebing
Huissen, 30 mei 2017

SAMENVATTING

Om de CO_2 uitstoot en de daarmee de vernietiging van het natuurlijk kapitaal te verminderen heeft de Nederlandse regering de ambitie opgesteld naar een vóór 2050 te realiseren circulaire economie. Bij een circulaire economie worden grondstofketens gesloten waardoor deze nooit op raken. Voor de bouwindustrie betekent dit dat er in het ontwerp al nagedacht moet worden over herbestemming en flexibiliteit van een gebouw. Dit houdt bijvoorbeeld in dat een gebouw aan het einde van zijn levensduur eenvoudig gedemonteerd kan worden. Hierdoor ontstaat de mogelijkheid om de elementen uit een gebouw te hergebruiken in de keten.

Het doel van dit afstudeerproject is het opstellen van aanbevelingen en richtlijnen voor het remontabel ontwerpen met kanaalplaatvloeren. Hiervoor is de volgende hoofdvraag gesteld: *"Hoe dient een remontabele hoofddraagconstructie met een kanaalplaatvloer ontworpen te worden zodat deze platen geschikt zijn voor hergebruik?"*

Er is een literatuurstudie uitgevoerd waarin bepaald is welke ontwerpvoorwaarden gelden voor het ontwerpen van een remontabel gebouw met kanaalplaatvloeren. De huidige ontwerpwijze voldoet niet aan deze voorwaarden. Met name het toepassen van een constructieve druklaag benadeelt de eenvoud van demontage van de kanaalplaatvloer. Daarnaast moet de verbinding van de kanaalplaatvloer met de hoofddraagconstructie remontabel uitgevoerd worden. Dit betekend dat de verbinding eenvoudig verbroken moet kunnen worden en voldoende toleranties op moet kunnen nemen, zodat er geen problemen ontstaan tijdens de remontage. Voor het ontwerpen van een remontabele verbinding van de kanaalplaat met de ligger is een variantenstudie uitgevoerd. De opgestelde varianten worden beoordeeld volgens de methode Multicriteria-analyse. De natte oplossing met koppelstaven in de langsvoeg en voorzieningen om aanhechting te voorkomen scoorde daarin het beste.

De horizontale krachten op een gebouw worden door schijfwerking van de vloeren overgedragen naar de stabiliteitselementen. Om een kanaalplaatvloer als één schijf te laten werken, moet deze voldoende sterk en stijf zijn. Hiervoor wordt doorgaans een gewapende druklaag toegepast, echter past dit niet binnen de visie van remontabel bouwen. Wanneer er geen gewapende druklaag toegepast wordt, zullen de optredende schuifkrachten moeten worden overgedragen door de met mortel gevulde langsvoegen. Het kan voorkomen dat de optredende schuifkracht de opneembare schuifspanning overschrijdt. Door de langsranden van de kanaalplaten te voorzien van een profilering wordt de schuifkrachtcapaciteit verhoogd en is de kanaalplaatvloer nog steeds remontabel.

Er zijn aanbevelingen opgesteld voor het ontwerpen van een gebouwstructuur waarbij de kanaalplaten zo geschikt mogelijk zijn voor hergebruik. Advies is om een vloerveld te ontwerpen, zonder sparingen en met een veelvuldige breedte van de kanaalplaat.

Bij het demonteren van de elementen moet er in het bijzonder aandacht besteedt worden aan de veiligheid. De stabiliteit van de constructie moet te allen tijde verzekerd zijn. Voorafgaand aan de demontage moet een demontageplan opgesteld worden waarin de stappen en aandachtspunten van de demontage uitgewerkt zijn.

Wanneer kanaalplaten constructief hergebruikt worden, moeten deze voldoen aan technische voorwaarden. Zo moet de kanaalplaat beschikken over een dossier met daarin de eigenschappen van het element. Daarnaast moet de kanaalplaat voldoen aan de dan geldende regelgeving. Constructief hergebruik van kanaalplaten kan plaatsvinden in dezelfde of een andere gebouwvorm op een nieuwe locatie. Wanneer deze niet meer geschikt is voor constructief hergebruik kan deze hergebruikt worden voor landbouwwegen of gerecycled worden.

SUMMARY

To reduce the CO_2 emission and the destruction of natural capital, the Dutch government set up the ambition to realize a circular economy before the end of 2050. In a circular economy you never run out of raw materials by closing their lifecycles. For the building industry this means that you need to think about reuse and flexibility of a building before designing them. For example, at the end of the lifespan of a building you have to be able to disassemble it and reuse the different elements so they never leave their cycle.

The goal of the graduation project is to form recommendations and guidelines for designing a building with hollow core slabs that could be reassembled. Therefore the following main research question is developed: "*How should a remontable support structure be designed in which the hollow core slab is suitable for reuse?*"

A literature study has taken place in which is decided which design conditions apply for designing a reusable building with hollow core slabs. The current way of assembling a hollow core slab does not suffice. Mainly the application of a reinforced concrete topping lowers the possibilities for disassembling the hollow core slabs. The connections of the hollow core slabs have to be made demontable as well. This means that it should be possible to easily take apart the connection and it has to be able to take up tolerances to make sure there won't be any problems during reassembly. A study of different possibilities for connecting the hollow core slab with the steel beam has taken place. The different possibilities have been rated according to the method Multi-criteria analysis. The connection with cast in concrete, reinforcement in the longitudinal joint in between the hollow core slabs and measures taken to prevent a strong attachment of the cast in concrete scored best.

Horizontal forces in a building are transferred through the floor. To enable the hollow core slabs to participate, the floor must be sufficient rigid. Normally, a reinforced concrete topping is applied. However, this does not fit within the vision of a remontable building. When no reinforced concrete topping is applied, shear forces must be transmitted through the longitudinal joint. The forces that occur may exceed the shear force capacity of the longitudinal joint. By applying a ribbed joint the shear force capacity of the longitudinal joint increases without limiting the reassembly.

Recommendations for designing a building structure where the hollow core slabs are most suitable for reuse have been formed. Recommend is to design a floor without block-outs and to use dimensions, which are the multiple width of the hollow core slab. Pipes can be integrated in raised access flooring.

When the hollow core slabs are disassembled, extra care must be paid to the safety. The structural stability must be assured at all times. Before disassembly a dismantling plan has to be formed in which the different stages and points of attention during the disassembly have been planned.

When the hollow core slabs are reused structural, they have to meet up to technical requirements. The hollow core slab must have a dossier in which the characteristics of the element are kept. The hollow core slab has to meet up to the regulations which apply at the time of reuse as well. Structural reuse of the hollow core slab can take place in the same building at a new at a new location, or in a new building. When the hollow core slab is no longer suitable for structural reuse, it can be reused for agricultural roads or recycled.

INHOUDSOPGAVE

BEGRIPPENLIJST 13

1 INLEIDING 15
1.1 Aanleiding 15
1.2 Doel en probleemstelling 15
1.3 Onderzoeksvragen 16
1.4 Werkwijze 16
1.5 Leeswijzer 16

2 REMONTABEL ONTWERPEN 19
2.1 Hergebruik 19
2.2 Voorwaarden 19
2.2.1 Vloerveld zonder druklaag 19
2.2.2 Remontabele verbinding 19
2.3 Draagstructuur 20
2.4 Toepassingsgebied 20

3 VARIANTENSTUDIE 21
3.1 Aanpak en werkwijze 21
3.1.1 Stap 1: Ontwerpen 21
3.1.2 Stap 2: Toetsen 21
3.1.3 Stap 3: Optimaliseren 22
3.1.4 Stap 4: Beoordelen 22
3.2 Ontwerpen en toetsen 22
3.2.1 Verbinding in langsvoeg v1 22
3.2.2 Deuvelverbinding kopzijde v2a/b/c 22
3.2.3 Deuvelverbinding in plaat v3a/b/c 22
3.2.4 Ankerrail v4a/b 23
3.2.5 Wandschoen v5a/b 23
3.2.6 Toetsing 23
3.3 Optimalisatie en beoordeling 23

3.3.1 Optimalisatie ... 23
3.3.2 Kwantitatieve criteria ... 23
3.3.3 Multicriteria-analyse ... 25
3.4 Resultaten ... 25
3.4.1 Gekozen oplossing ... 26

4 CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID ... 27
4.1 Stabiliteit ... 27
4.2 Drukboog-trekband systeem ... 27
4.2.1 Trekband ... 28
4.2.2 Drukboog ... 28
4.3 Krachtswerking in de vloerschijf ... 28
4.3.1 Berekening schijfwerking ... 29
4.3.2 Geprofileerde voeg ... 30
4.4 Verbinding kanaalplaat-ligger ... 30
4.4.1 Torsie ... 30

5 AANBEVELINGEN VOOR ONTWERPEN ... 31
5.1 Ontwerpen gebouwstructuur ... 31
5.2 Sparingen ... 31
5.3 Vloerafwerking ... 31
5.3.1 Natte dekvloer ... 32
5.3.2 Natte zwevende dekvloer ... 32
5.3.3 Droge zwevende dekvloer ... 32
5.3.4 Verhoogde vloer ... 32
5.3.5 Eindafwerking ... 32
5.4 Plafond ... 32
5.4.1 Verlaagd plafond ... 32

6 DEMONTAGE ... 33
6.1 Demontage ... 33
6.1.1 Volgorde demontage ... 33
6.1.2 Veiligheid tijdens de demontage ... 33
6.1.3 Hijsen kanaalplaten ... 33
6.1.4 Demontageplan ... 34

7 VOORWAARDEN VOOR HERGEBRUIK 37
7.1 Technische voorwaarden 37
7.1.1 Identiteit 37
7.1.2 Veranderingen in de regelgeving 38
7.2 Hergebruiken kanaalplaat 38
7.2.1 Nieuwe bestemming gebouw 38
7.2.2 Retourname kanaalplaat door VBI 38

8 REMONTABELE DETAILS 39
8.1 Omschrijving draagstructuren 39
8.2 Details 39

9 CONCLUSIE 65

10 AANBEVELINGEN 67

BRONNEN 69

BIJLAGEN 71
Bijlage 01: Procesmap 71
Bijlage 02: Plan van Aanpak 71
Bijlage 03: Literatuurstudie 71
Bijlage 04: Programma van Eisen 71
Bijlage 05: Varianten 71
Bijlage 06: Multicriteria-analyse 71
Bijlage 07: Berekeningen 71
Bijlage 08: Praktijkvoorbeeld bedrijfspand Ootmarsum 71

BEGRIPPENLIJST

Betongranulaat
"Gebroken, steenachtig materiaal uit bouw- en sloopafval (BSA) dat tenminste 90% beton bevat." (Rijksoverheid, 2009)

Circulaire economie
De circulaire economie betekent grofweg dat we producten en materialen blijven gebruiken, ook als een product kapot of oud is. Dat kan door recycling, refurbishment, hoogwaardig hergebruik en op meer manieren. Daar horen nieuwe businessmodellen bij en een andere manier van samenwerken en relaties met klanten onderhouden. (Gebouwinzicht, 2016)

Circulair bouwen
Circulair bouwen richt zich op een minimaal gebruik en hergebruik van grondstoffen en producten bij het ontwerp en de exploitatie van bedrijfsgebouwen. Voor gebouwen betekent dit niet alleen het kijken naar materialen, maar ook naar levensduurverlenging door het maximaal aanpasbaar maken van de gebruiksfunctie van een gebouw. (Gebouwinzicht, 2016)

Constructief hergebruik
Een constructief element uit een gebouw opnieuw gebruiken. Hierbij vervult dit element opnieuw een constructieve functie in een nieuw gebouw.

Demontabel bouwen
Demontabel bouwen is een bouwmethode waarbij de constructieve verbindingen zodanig zijn uitgevoerd, dat de onderdelen van de constructie zonder of met geringe destructie kunnen worden gedemonteerd en voor hergebruik in aanmerking komen. (CUR, 1990)

Druklaag
Een in het werk gestorte gewapende betonnen laag die over een constructieve vloer wordt aangebracht. Een druklaag wordt toegepast om de constructieve eigenschappen van de vloer te versterken.

Hergebruik
"Het als product of als materiaal opnieuw gebruiken of het nuttig toepassen van een reststof." (Rijksoverheid, 2009)
"Een product kan worden hergebruikt in dezelfde of een soortgelijke functie. Ook kan het materiaal waaruit het product bestaat worden hergebruikt." (Rijksoverheid, 2009)

Kopvoeg
De kopvoeg is de ruimte aan de kopzijde van de kanaalplaat ter plaatse van de oplegging.

Materiaalpaspoort
Materiaalpaspoort volgens COFA NEDERLAND (2015):

> Een materiaalpaspoort is een document dat de exacte materiële inhoud van elk gebouw, de elementen en componenten beschrijft. Het materiaalpaspoort geeft een duidelijk overzicht van de samenstelling van het materiaal, waarde, functionaliteit en voordelige potentie van elk object. Het beschrijft ook het proces van demontage, reverse logistics evenals renovatie en / of recycling, alsook de toepassingsmogelijkheden in een volgende gebruiksfase.

Langsvoeg/ kelkvoeg
Een langsvoeg/ kelkvoeg is de ruimte tussen de langszijde van de kanaalplaten in een vloerveld en loopt evenwijdig aan de overspanning van de kanaalplaat.

Prefab beton
Geprefabriceerd beton. Betonnen elementen die niet op de bouwplaats maar op een andere locatie gefabriceerd worden en wanneer uitgehard vervoerd wordt naar de bouwlocatie waar het wordt verwerkt.

Remontabel
Elementen die niet alleen eenvoudig te demonteren zijn maar ook zo ontworpen zijn dat deze weer eenvoudig hermonteerd kunnen worden.

Sleufsparing
Sparingen gemaakt in de kanaalplaat door de bovenschil te verwijderen ter plaatse van een kanaal. Hierin wordt verbindingswapening aangebracht om de kanaalplaatvloer aan de hoofddraagconstructie te verankeren
.

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

De wereldbevolking is in de afgelopen eeuw 34 keer meer materialen, 27 keer meer mineralen, 12 keer meer fossiele brandstoffen en 3,6 keer meer biomassa gaan gebruiken. Deze forse toename zorgt voor een uitputting van het natuurlijk kapitaal en levert een aanzienlijke bijdrage aan de uitstoot van CO_2. Nederland is daarbij ook erg grondstofafhankelijk van andere landen, 68 procent van de grondstoffen worden geïmporteerd. Dit maakt Nederland erg kwetsbaar voor de uitputting van het natuurlijk kapitaal. Om deze redenen heeft de regering de ambitie opgesteld naar een vóór 2050 te realiseren circulaire economie. Dit is een economie waarbij grondstoffen nooit 'op' raken doordat deze efficiënt worden ingezet en gebruikt, zonder schadelijke emissies naar het milieu. (MVONederland, 2016)

De bouwsector is één van de 5 prioriteiten waarop de focus ligt binnen dit programma. Om de gedachte van de circulaire economie te kunnen vertalen naar circulair bouwen moet er bij het ontwerp al nagedacht worden over herbestemming en flexibiliteit/verplaatsbaarheid van een gebouw. Wanneer er efficiënter ontworpen wordt kan dit de levensduur van gebouwen en bouwdelen verlengen. Op deze manier worden grondstofketens gesloten en draagt de bouwsector bij aan de CO_2 vermindering. De lineaire productieketen wordt circulair gemaakt door producten na gebruik weer in te nemen en zonder al te veel bewerkingen elders weer toe te passen. Het ultieme voorbeeld is een pand wat net zoals LEGO volledig demontabel is en elders opnieuw opgebouwd kan worden of onderdelen hiervan te hergebruiken in een ander gebouw, een remontabel gebouw.

Een circulair gebouw bestaat uit circulaire producten. De hoofddraagconstructie van een circulair gebouw bestaat uit remontabele elementen die het mogelijk maken een gebouw aan te passen, te verplaatsen en onderdelen te hergebruiken in een nieuw gebouw. Beton is een bouwmateriaal wat veel toegepast wordt. De productie van het cement in beton veroorzaakt veel CO_2 uitstoot. Door de betonnen elementen te hergebruiken wordt deze CO_2 uitstoot verminderd en neemt de afvalstroom af.

De focus van dit afstudeerproject ligt op het constructief hergebruiken van kanaalplaatvloeren waarbij tijdens het ontwerp al nagedacht wordt over toekomstige demontage en remontage.

Er zijn relevante studies gedaan naar het één-op-één hergebruiken van kanaalplaatvloeren. In de studies 'Reuse of hollow core slabs from office buildings to residential buildings' van N. Naber (2012) en 'The Donor Skelet' van A. Glias (2013) is de haalbaarheid van hergebruik van kanaalplaten uit bestaande gebouwen onderzocht. Hierbij is echter, in tegenstelling tot bij circulair bouwen, naderhand pas nagedacht over hergebruik van de elementen. Uit deze studies blijkt dat elementen veel efficiënter hergebruikt kunnen worden wanneer deze demontabel ontworpen worden.

1.2 Doel en probleemstelling

De intentie om demontabel te bouwen met kanaalplaten is er al. In het najaar van 2016 is in Amsterdam een tijdelijk gerechtsgebouw opgeleverd. Na 5 jaar wordt deze gedemonteerd en krijgt het gebouw een nieuwe bestemming. Voor dit project is een demontabele verbinding ontworpen tussen de kanaalplaat en de hoofddraagconstructie. Hierdoor is het mogelijk de kanaalplaten na gebruik weer eenvoudig te demonteren. Echter is er bij deze oplossing te weinig rekening gehouden met toekomstige remontage. De verbinding kan bij tweede gebruik onvoldoende toleranties opnemen waardoor de kans op problemen tijdens de remontage groot is. Hergebruik van de kanaalplaat wordt hierdoor beperkt tot de constructie waar deze momenteel is toegepast. De verbinding is dus wel demontabel maar beperkt remontabel. Een remontabel gebouw kan na gebruik eenvoudig gedemonteerd en vervolgens hergebruikt worden in

hetzelfde of een ander gebouw zonder dat hier grote aanpassingen voor nodig zijn.
In 1977 is er door de CUR een onderzoek uitgevoerd om vast te stellen in hoeverre demontabel bouwen de traditionele manier van bouwen met prefab beton kan vervangen. Hierbij zijn randvoorwaarden en ontwerpregels opgesteld. In 1990 is hier een vervolgonderzoek op gedaan. CUR-rapport 135 "demontabel bouwen" is een handleiding voor demontabel bouwen met prefab beton. Hier is vervolgens 27 jaar niet veel mee gedaan terwijl de behoefte naar een demontabele betonconstructie alleen maar gestegen is door de sterk toegenomen zorg voor het milieu. Bijna 30 jaar later wordt in dit afstudeerproject het onderwerp weer opgepakt en een stap verder uitgewerkt door de kanaalplaten niet alleen demontabel maar ook remontabel toe te passen.

Het doel van het afstudeerproject is om een universeel concept te onderzoeken voor een remontabele draagconstructie met kanaalplaten. Hierin worden ontwerpaanbevelingen en voorwaarden gegeven voor veilige demontage en geschiktheid voor constructief hergebruik

1.3 Onderzoeksvragen

In het afstudeerproject staat de volgende hoofdvraag centraal:

"Hoe dient een remontabele hoofddraagconstructie met een kanaalplaatvloer ontworpen te worden zodat deze platen geschikt zijn voor hergebruik?"

De hoofdvraag wordt beantwoord aan de hand van de volgende zes deelvragen:

1. *"Welke voorwaarden zijn belangrijk voor het ontwerpen van een remontabele hoofddraagconstructie met een kanaalplaatvloer?"*
2. *"Hoe ziet een verbinding eruit tussen de kanaalplaat en de ligger die voldoet aan de gestelde criteria voor een remontabele hoofddraagconstructie met een kanaalplaatvloer?"*
3. *"Hoe wordt de constructieve veiligheid van de hoofddraagconstructie gewaarborgd wanneer de kanaalplaat remontabel toegepast wordt?"*
4. *"Welke ontwerpuitgangspunten horen bij een remontabel gebouw waarin kanaalplaten toegepast worden?"*
5. *"Hoe worden de kanaalplaten op een eenvoudige en veilige wijze gedemonteerd?"*
6. *"Wat zijn technische voorwaarden voor constructief hergebruik van de kanaalplaat?"*

1.4 Werkwijze

Het onderzoek is opgebouwd in 4 fasen: initiatiefase, definitiefase, ontwerpfase en documentatiefase.

In de initiatiefase is er bepaald wat er onderzocht gaat worden en hoe dit gedaan wordt. Dit is gedaan met behulp van een plan van aanpak (zie bijlage 02).

In de definitiefase is een literatuurstudie uitgevoerd over de relevante literatuur met betrekking tot remontabel ontwerpen met kanaalplaten (zie bijlage 03). Op basis van deze gegevens is een programma van eisen opgesteld met criteria voor het ontwerpen van een remontabel systeem (zie bijlage 04).

De ontwerpfase bestaat uit een variantenstudie van het ontwerpen voor een remontabele aansluiting van de kanaalplaat met de staalconstructie. Tijdens deze variantenstudie is een verbinding geselecteerd die op DO-niveau uitgewerkt is. In de ontwerpfase is tevens een praktijkproject remontabel ontworpen. Het proces en resultaten van dit project zijn te vinden in bijlage 08.

In de laatste fase wordt het afstudeerproject gedocumenteerd. De scriptie wordt geschreven en er wordt een detailboek van de remontabele aansluitingen van de kanaalplaat uitgewerkt.

1.5 Leeswijzer

De deelvragen worden ieder in een eigen hoofdstuk behandeld. De antwoorden op de deelvragen geven samen het antwoord op de hoofdvraag. Er wordt een remontabele verbinding ontworpen tussen de kanaalplaat en de hoofddraagconstructie. Hiervoor wordt in het eerste hoofdstuk criteria benoemd die opgesteld zijn met behulp van de literatuurstudie. Vervolgens wordt er in hoofdstuk 3 een variantenstudie uitgevoerd voor het ontwerpen van

de remontabele verbinding. De beste variant wordt gekozen op basis van een Multicriteria-analyse. Voor de gekozen variant wordt een detailboek opgesteld. De constructieve veiligheid van de remontabele hoofddraagconstructie met deze verbinding wordt toegelicht in hoofdstuk 4. Er worden ontwerpaanbevelingen gegeven over de toepassing van dit systeem in hoofdstuk 5. Van het systeem wordt een demontageplan opgesteld in hoofdstuk 6 waarin instructies staan om de demontage efficiënt en veilig te laten verlopen. De laatste deelvraag wordt beantwoord in hoofdstuk 7, hierin worden technische voorwaarden benoemd voor constructief hergebruik van de kanaalplaat. In het laatste onderdeel van de scriptie bevinden zich de details voor de remontabele verbinding van de kanaalplaat, de conclusie waarin er antwoord wordt gegeven op de hoofdvraag en de aanbevelingen.

2 REMONTABEL ONTWERPEN

Om de kanaalplaat eenvoudig te kunnen hergebruiken moet de huidige wijze van construeren herzien worden. In dit hoofdstuk zijn voorwaarden gegeven voor het ontwerpen van een remontabele hoofddraagconstructie met kanaalplaatvloeren.

2.1 Hergebruik

De kanaalplaat is als prefab element met vaste afmetingen zeer geschikt voor hergebruik. Tevens is de technische levensduur van een kanaalplaat vele malen langer dan de gebruikslevensduur van het gebouw waarin deze toegepast wordt. (Naber, 2012)

De huidige manier waarop de kanaalplaat toegepast wordt maakt deze niet geschikt voor hergebruik. Een kanaalplaatvloer wordt doorgaans ten behoeve van de samenhang van een gebouw gekoppeld aan de draagconstructie door middel van koppelstaven, aangebracht in sleufsparing of in de langsvoegen. De kop- en langsvoegen worden aangestort met betonmortel. Vervolgens wordt er veelal nog een cementdekvloer aangebracht. Wanneer de vloer gebruikt wordt om grote geconcentreerde belastingen af te dragen, kan ervoor gekozen worden om een druklaag toe te passen.

Natte verbindingen en een in het werk gestorte gewapende druklaag passen niet binnen de gedachte van remontabel bouwen. Echter blijkt uit testen van VBI in samenwerking met Nijhuis uit 2005, dat de cementdekvloer eenvoudig loslaat. Dit komt doordat deze dekvloer slecht hecht aan de kanaalplaatvloer. Het grootste probleem is de gewapende druklaag. De druklaag hecht sterk aan de kanaalplaatvloer om een goede samenwerking te creëren. Het verwijderen van een druklaag vereist daardoor veel energie. (Naber, 2012)

2.2 Voorwaarden

De huidige manier van bouwen met kanaalplaten moet dus herzien worden zodat een gebouw op een veilige en eenvoudige manier kan worden hergebruikt.

2.2.1 Vloerveld zonder druklaag

De eerste stap is het weglaten van de gewapende druklaag. Om de functies van de druklaag op te vangen moeten er voorzieningen getroffen worden. De druklaag vervult de volgende functies (Velthorst, 2007):

- Stijfheid vergroten
- Draagvermogen vergroten
- Vergroten van de samenhang tussen de kanaalplaten waardoor er schijfwerking ontstaat.
- Lastspreiding vergroten

2.2.2 Remontabele verbinding

Naast de druklaag moeten de natte gewapende verbindingen ook aangepast worden. Verbindingen moeten zo ontworpen worden dat deze eenvoudig weer uit elkaar gehaald kunnen worden. De kanaalplaat wordt op twee plaatsen verbonden. Aan de kopzijde ter plaatse van de oplegging met de wand of ligger en ter plaatse van de langsvoeg evenwijdig aan een kanaalplaat, ligger of wand. Om deze verbindingen demontabel te maken moeten deze voldoen aan de volgende voorwaarden (CUR 1990):

- De verbinding moet sterk genoeg zijn om de verschillende optredende belastingen op te kunnen nemen en door te geven.
- De verbinding moet eenvoudig, met geringe destructie en zonder de kanaalplaat te beschadigen gedemonteerd kunnen worden.
- Om de verbinding te kunnen demonteren en controleren moet deze toegankelijk zijn.

- Er wordt aangeraden om zo veel mogelijk droge verbindingen toe te passen. Aanstortingen moeten eenvoudig verwijderd kunnen worden door aanhechting met de kanaalplaat te voorkomen.

Wanneer de verbinding hergebruikt wordt in een nieuw gebouw moet deze voldoen aan een aantal voorwaarden. De belangrijkste voorwaarden zijn dat de verbinding toleranties in de kanaalplaat en toleranties veroorzaakt door afwijkingen in de staalconstructie en de fundering op moet kunnen vangen bij remontage.

2.3 Draagstructuur

Er is gekozen om de kanaalplaat remontabel toe te passen in combinatie met staalskeletbouw. Een staalconstructie heeft veel voordelen wanneer er remontabel gebouwd wordt. Ten eerste is het een snelle bouwmethode waarmee in combinatie met een kanaalplaatvloer grote overspanningen gecreëerd kunnen worden. Daarnaast is deze draagstructuur in alle richtingen flexibel voor zowel het ontwerp als gebruik. Boutverbindingen maken het mogelijk om de constructie eenvoudig te demonteren en te hergebruiken. De stalen liggers kunnen als geïntegreerde ligger of als ligger onder de vloer aangebracht worden. In het afstudeerproject worden beide situaties bekeken. Door de liggers te integreren in de vloerhoogte zit de draagstructuur minder 'in de weg' en hierdoor nemen de mogelijkheden van hergebruik van het gebouw toe.

2.4 Toepassingsgebied

Wanneer de elementen groter zijn, is er relatief minder energie nodig om deze te hergebruiken. Om deze reden is er gekozen voor een toepassingsgebied met grotere overspanningen, namelijk utiliteitsbouw.

Staalskeletbouw wordt in de utiliteitsbouw veel toegepast in combinatie met kanaalplaten. Bovendien is er in de utiliteitsbouw vaak behoefte aan flexibiliteit, voornamelijk bij kantoor- en schoolgebouwen. Door remontabele toepassing van de kanaalplaten kan het vloerveld eenvoudig aangepast worden. Er is bewust niet gekozen voor woongebouwen omdat hier over het algemeen veel installaties in de vloer verwerkt worden. De benodigde sparingen om deze te verwerken beperkt de geschiktheid voor hergebruik van de kanaalplaten.

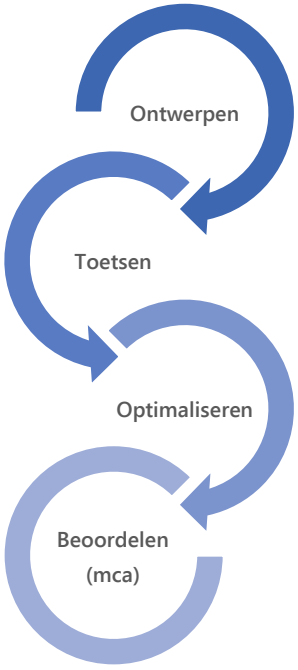
3 VARIANTENSTUDIE

Voor het ontwerpen van een remontabele verbinding tussen de kanaalplaat en de hoofddraagconstructie ter plaatse van de oplegging is een variantenstudie uitgevoerd. Dit hoofdstuk toont het proces en de resultaten van deze variantenstudie.

3.1 Aanpak en werkwijze

Er worden verschillende varianten opgesteld voor de remontabele verbinding ter plaatse van de oplegging van de kanaalplaten met de stalen ligger. De varianten worden uitgewerkt voor 2 situaties, zowel opgelegd als geïntegreerd. De variantenstudie is verdeeld in 4 stappen zoals te zien in figuur 3-1.

Het Programma van Eisen (zie bijlage 04) is opgesteld als hulpmiddel voor de variantenstudie. In het Programma van Eisen worden de criteria voor de toetsing en beoordeling van de varianten onderbouwd. Het proces en de gebruikte methoden zijn hierin beschreven.



Figuur 3-1 Structuur variantenstudie

3.1.1 Stap 1: Ontwerpen

In de eerste stap zijn er 11 varianten opgesteld binnen 3 oplossingsrichtingen:

1. Bestaande verbinding aanpassen

De eerste varianten zijn opgesteld door de bestaande verbinding aan te passen zodat de kanaalplaat gedemonteerd kan worden. Binnen deze richting is een variant opgesteld die uitgewerkt is voor het bouwen van een bedrijfspand in Ootmarsum. Tijdens de afstudeeropdracht zijn voor dit gebouw demontabele details opgesteld in overleg met de constructeur van het project. Het proces en de resultaten van dit praktijkvoorbeeld zijn te vinden in bijlage 08.

2. Bestaande demontabele oplossing optimaliseren

Binnen de tweede oplossingsrichting is er gekeken naar bestaande gebouwen waarbij kanaalplaten demontabel toegepast zijn. Deze projecten zijn in de literatuurstudie beschouwd en er zijn verbeterpunten opgesteld (zie bijlage 03, hoofdstuk 6). Er zijn varianten op deze verbindingen ontworpen waarbij deze punten mee zijn genomen.

3. Nieuwe oplossingen

Varianten uit de laatste oplossingsrichting bestaan uit nieuwe oplossingen.

3.1.2 Stap 2: Toetsen

De varianten zijn getoetst aan de kwalitatieve criteria benoemd in deel 1 van het programma van Eisen (bijlage 04, Hoofdstuk 3). Dit zijn criteria waaraan de verbinding minimaal moet voldoen. Er wordt in deze stap getoetst of de verbinding voldoet aan de

constructieve- en brandveiligheidseisen, of de voorkomende toleranties in het detail opgenomen kunnen worden, of de levensduur van het detail voldoende is en of de oplossing past binnen het huidige productieproces.

3.1.3 Stap 3: Optimaliseren

De verbindingen die voldoen aan de kwalitatieve criteria worden geoptimaliseerd. De ontwerpschetsen opgesteld in stap 1 worden uitgewerkt op VO-niveau.

3.1.4 Stap 4: Beoordelen

De geoptimaliseerde varianten worden in de laatste stap beoordeeld aan kwantitatieve criteria volgens de methode Multicriteria-analyse (MCA). Bij deze methode wordt er een weging aan de criteria gehangen zodat deze onderling vergeleken kunnen worden. Met behulp van een MCA worden de beslissingsprocessen transparant gemaakt en de keuzes onderbouwd.

De kwantitatieve criteria zijn opgedeeld in 3 onderscheidingscriterium:

- Remontabele criteria
- Veiligheidscriteria
- Functionele criteria

3.2 Ontwerpen en toetsen

In hoofdstuk 2 van bijlage 05 zijn de varianten getekend. Hierbij is een uitgebreide beschrijving met voor en nadelen van de oplossing toegevoegd.

3.2.1 Verbinding in langsvoeg v1

De eerste variant is een aanpassing van de traditionele verbinding waarbij er koppelstaven in de langsvoeg worden gestort. Om sterke aanhechting tussen de kanaalplaatvloer en de constructie te voorkomen worden de kopzijden van de kanaalplaten met een dun plaatmateriaal dicht gezet.

3.2.2 Deuvelverbinding kopzijde v2a/b/c

Deze varianttypen zijn afgeleid van de oplossing zoals toegepast bij de tijdelijke rechtbank in Amsterdam. Bij dit project werden er per plaateinde 2 sparingen gemaakt waarin staven met Demu-ankers werden gestort. Met behulp van deze Demu-ankers zijn de kanaalplaten aan de ligger gebout. De verbinding kan echter onvoldoende toleranties opnemen, dit zorgt voor problemen tijdens remontage. Bij varianten 2 wordt er een koker met staaf ingestort in de sleufsparingen. Hierin wordt een deuvel bevestigd aan de ligger. De ruimte rondom de deuvel wordt vervolgens aangestort. Bij demontage kan de deuvel verwijderd worden door slechte aanhechting met de koker. Bij remontage kan vervolgens opnieuw de deuvel gemonteerd en aangestort worden.

Het verschil in de varianten 2a, 2b en 2c zit in de verbinding van de deuvel met de ligger. Bij variant 2a door middel van een draadeind met moeren, bij variant 2b door middel van een schroefbus met bout en bij variant 2c is de deuvel gelast aan de ligger.

3.2.3 Deuvelverbinding in plaat v3a/b/c

Deze varianttypen zijn afgeleid van varianttypen 2 en de oplossing toegepast bij het gebouw van het Saxion in Apeldoorn. Hierbij hebben ze ruime sparingen in de kanaalplaat aangebracht. De kanaalplaat wordt over opgelaste deuvels aan de ligger gehesen. Deze deuvels vallen in de sparing. De ruimte rondom de deuvel werd aangestort met sterke mortel. Het nadeel van de verbinding zoals deze uitgevoerd is bij het Saxion in Apeldoorn is dat bij demontage er veel destructieve handelingen benodigd zijn, dit vergroot de kans op schade. Om ervoor te zorgen dat de deuvels makkelijk loskomen van de kanaalplaat zijn er bij de varianten 3 kokers in de sparingen rondom de deuvel aangebracht. Hierdoor hecht de mortel niet goed aan de kanaalplaat en kan deze gemakkelijker gedemonteerd worden. Bij remontage kan vervolgens opnieuw de deuvel aangebracht en aangestort worden.

Het verschil in deze varianten zit weer in de verbinding van de deuvel met de ligger. Bij variant 3a door middel van een draadeind en moeren, bij 3b door middel van een schroefbus en bout en bij variant 3c is de deuvel gelast aan de ligger.

3.2.4 Ankerrail v4a/b

Bij deze varianten wordt er een ankerrail toegepast in de onderschil van de kanaalplaat, deze is in staat de toleranties in de lengterichting van de plaat op te nemen. De kanaalplaat wordt door middel van ingestorte ankerrail gekoppeld aan de ligger.

3.2.5 Wandschoen v5a/b

Bij de laatste varianten wordt er gebruik gemaakt van een wandschoen. Dit is een stalen behuizing met een opening aan een zijde die na instorting toegankelijk blijft. Op deze manier kan de boutverbinding met de ligger die zich in de wandschoen bevindt eenvoudig losgekoppeld worden. Toleranties worden opgevangen door een slobgat in de wandschoen.

3.2.6 Toetsing

De varianten met de ankerrail voldoen niet omdat het ankerrail ingestort wordt op de baan tijdens de productie. Dit vertraagt het productieproces. Variant 5a met de wandschoen voldoet ook niet. Deze variant kan alleen uitgevoerd worden wanneer deze als randoplossing uitgevoerd wordt omdat de wandschoen anders door aanstorting niet meer bereikbaar is. Om deze reden kan deze variant ook niet geïntegreerd toegepast worden. De overige varianten voldoen aan de kwalitatieve criteria en worden in de volgende fasen geoptimaliseerd en beoordeeld.

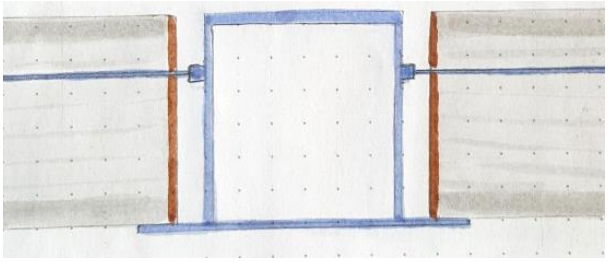
3.3 Optimalisatie en beoordeling

3.3.1 Optimalisatie

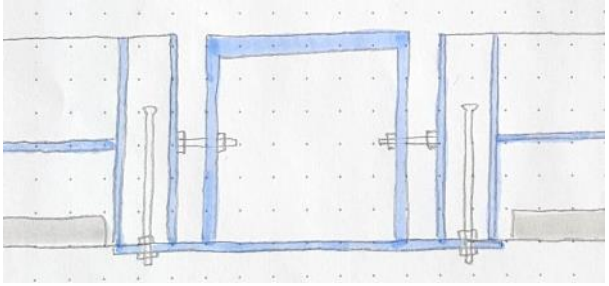
De gekozen varianten zijn geoptimaliseerd en uitgewerkt op VO-niveau. Deze details zijn te vinden in hoofdstuk 3 van bijlage 05 Varianten.

3.3.2 Kwantitatieve criteria

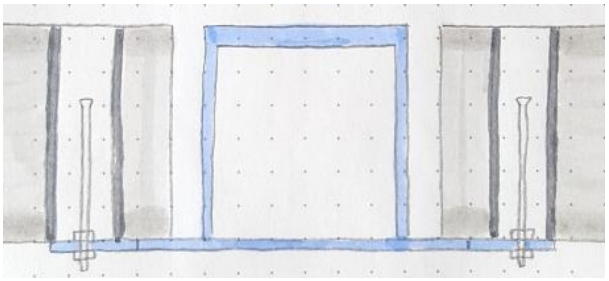
Om de varianten te beoordelen zijn er 8 kwantitatieve criteria opgesteld. Dit zijn criteria die beoordeeld worden met een cijfer. Door de levensloop van de remontabele kanaalplaat na te lopen wordt geïnventariseerd in welke situaties het element zich kan bevinden en welke criteria van belang zijn in die situaties. De levenscyclus van de remontabele



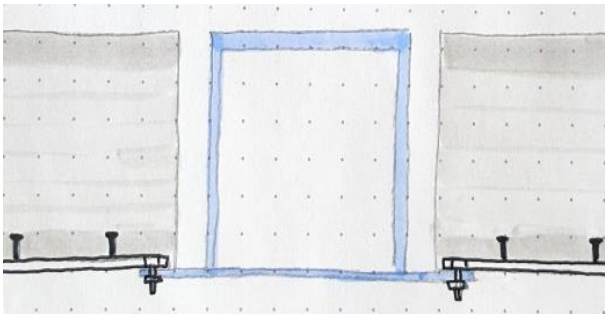
Figuur 3-2 Schets variant 1



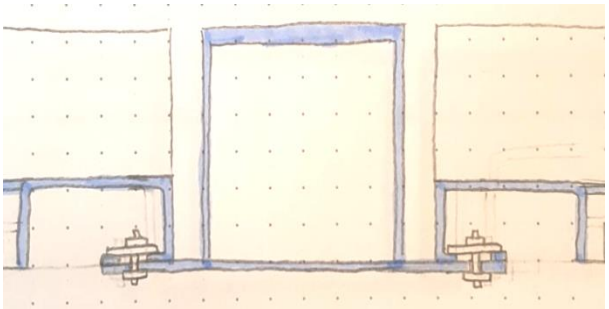
Figuur 3-3 Schets variant 2a



Figuur 3-4 Schets variant 3a



Figuur 3-5 Schets variant 4a



Figuur 3-6 schets variant 5a

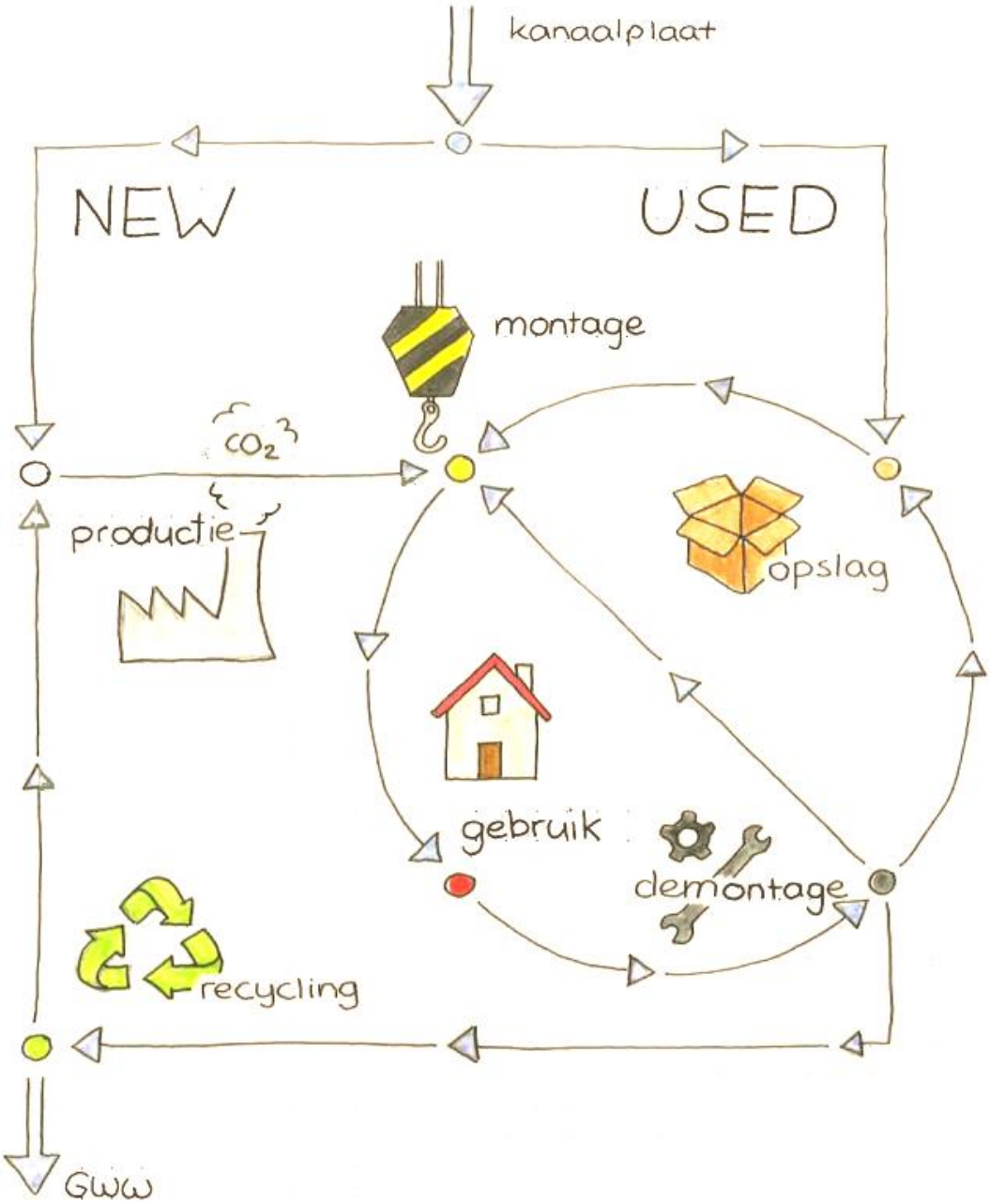
kanaalplaat is weergegeven in figuur 3-7. De fasen productie, montage, demontage en remontage worden gebruikt voor het opstellen van de kwantitatieve criteria. De onderbouwing van de criteria en de weging staan in het Programma van Eisen (Bijlage 04, Hoofdstuk 4).

Productie

1. Sparingen in de kanaalplaat (5%)
   Moeten er in de fabriek sparingen aangebracht worden om de verbinding met de staalconstructie te kunnen realiseren?

Montage

2. Materiaalkosten (20%)
   Hoe hoog zijn de materiaalkosten voor de te realiseren oplossing?
3. Montagetijd (20%)
   Hoeveel handelingen zijn er benodigd om de kanaalplaat te monteren?
4. Complexiteit (5%)
   Hoe complex is de uit te voeren verbinding?



Figuur 3-7 Levenscyclus remontabele kanaalplaat

Demontage

5. Demontagetijd (10%)
   Hoeveel handelingen zijn er benodigd om de kanaalplaat te demonteren?
6. Schade (10%)
   Hoe groot is de kans op beschadiging van de kanaalplaten tijdens de demontage?

Remontage

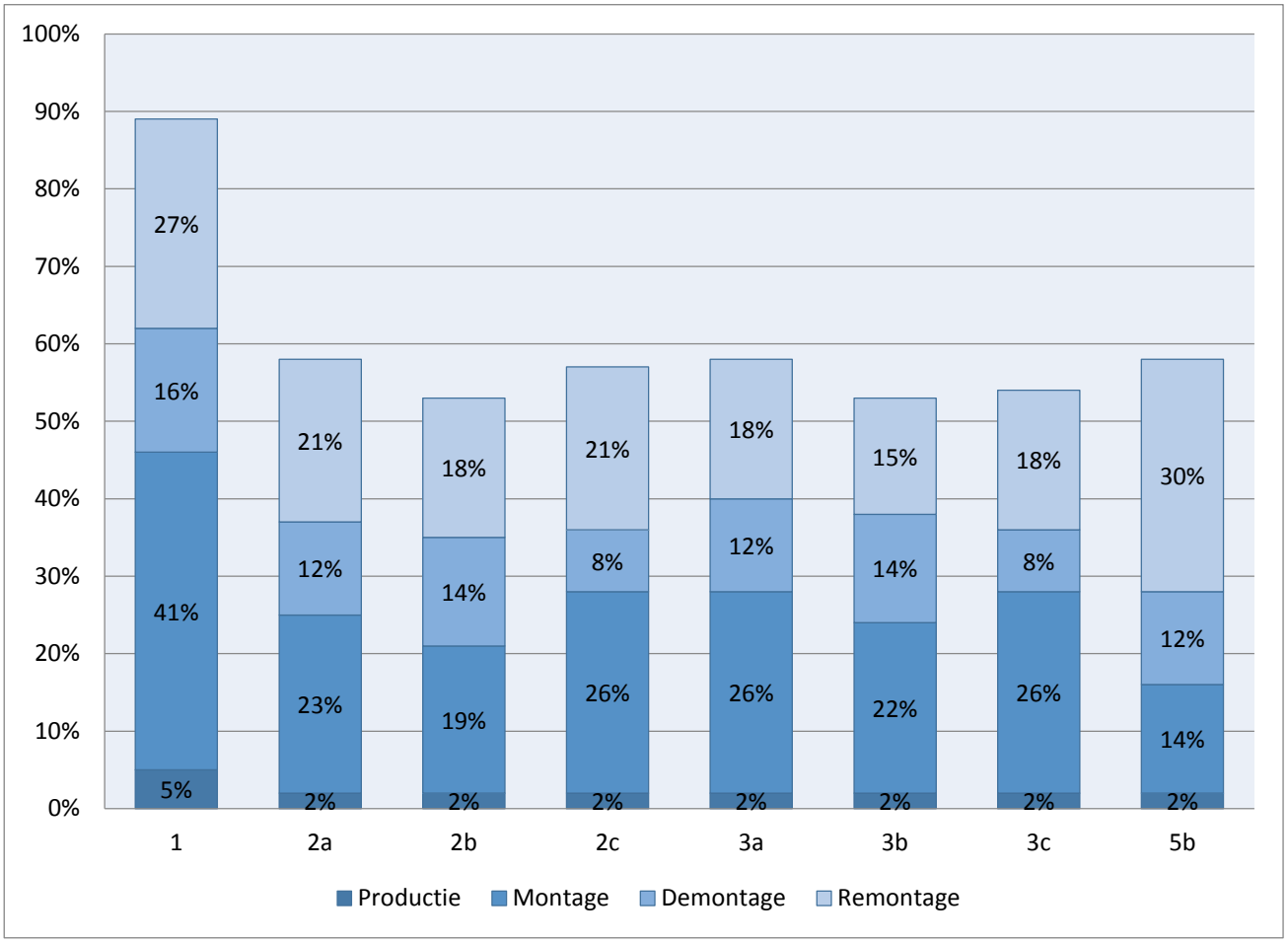
7. Remontagetijd (15%)
   Hoeveel handelingen zijn er benodigd om de kanaalplaten veilig te remonteren?
8. Materiaalkosten remontage (15%)
   Hoe hoog zijn de materiaalkosten van het benodigde materiaal om de kanaalplaat en de remontabele verbinding geschikt te maken voor remontage?

3.3.3 Multicriteria-analyse

In de laatste fase van de variantenstudie wordt de beste variant gekozen op basis van de Multicriteria-analyse. De varianten die door de toetsing zijn gekomen worden hierbij beoordeeld met behulp van een evaluatietabel. Per criteria wordt een cijfer toegekend van 1 tot 5, hierbij heeft 1 een negatief effect en 5 een positief effect. De varianten worden hierbij vergeleken met de toepassing van een "normale" niet-remontabele kanaalplaat. De ingevulde evaluatietabellen van de varianten met toelichting zijn te vinden in bijlage 06: Multicriteria-analyse.

3.4 Resultaten

De score van de varianten zijn weergegeven in figuur 3-8. Wanneer een oplossing 100% scoort is deze gelijk aan de huidige oplossing voor de aansluiting van de kanaalplaat met de ligger. Uit de Multicriteria-analyse blijkt dat variant 1 duidelijk boven de overige varianten uitstijgt met een score van 89%. De overige varianten liggen vrij dicht bij elkaar met een score tussen 50 en 60%. Variant 1 ligt dicht bij de huidige oplossing en scoort op alle 4 de onderdelen het beste. Voornamelijk tijdens de montage heeft variant 1 goed gescoord. Dit komt vanwege de goedkope oplossing en dat er relatief weinig handelingen



Figuur 3-8 Resultaten Multicriteria-analyse

uitgevoerd hoeven te worden op de bouwplaats. De montage, bij eerste toepassing van de kanaalplaat, heeft een hoge weging gekregen omdat hier de meeste kosten gemaakt worden en dit versterkt de positieve beoordeling van deze fase bij variant 1.

Variant 5b is de enige variant die bij hergebruik geheel droge is. Variant 5b heeft een score van 58%. Het grootste nadeel van deze variant is dat het maken van deze verbinding erg duur is, zowel de materialen als de handelingen om het te monteren. Dit zie je dus ook terugkomen in de lage score bij de fase montage. Uiteindelijk heb je wel een element wat zelfstandig remontabel is. Wanneer vooraf bekend is dat een gebouw vaak verplaatst gaat worden kan het toch gunstiger zijn om variant 5b toe te passen. Indien het mogelijk zou worden om de wandschoen tijdens het productieproces in te storten, wordt deze variant veel aantrekkelijker.

3.4.1 Gekozen oplossing

Omdat het onwaarschijnlijk is dat elke remontabele kanaalplaat ook meerdere malen constructief hergebruikt gaat worden, is gekozen om variant 1 uit te werken. De verbinding is eenvoudig uit te voeren omdat deze dicht bij de traditionele toepassing blijft. Sterke aanhechting van de aanstortingen moet voorkomen worden, voornamelijk ter plaatse van de kopzijde van de kanaalplaat is het noodzakelijk te voorkomen dat het beton in de kanalen aanhecht. De toepassing van kanaaldeksel moet hierbij vervangen worden door een gladde afwerking. Dit kan met dun plaatmateriaal, een sticker of folie. Bij toepassing van een duurzaam materiaal met een lange levensduur kan deze samen met de kanaalplaat hergebruikt worden bij de remontage.

Van de gekozen oplossing zijn details getekend in combinatie met een stalen geïntegreerde ligger en een ligger onder de vloer. Deze details zijn te vinden in hoofdstuk 8.

4 CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID

Uit het oogpunt van veiligheid is het belangrijk dat een gebouw te allen tijde de beoogde samenhang behoud. Een vloer heeft meerdere constructieve functies, schijfwerking van de kanaalplaatvloer speelt hierbij een belangrijke rol. Bij het ontwerpen van een remontabele constructie is het niet gewenst om de gewapende druklaag in te zetten om de schijfwerking te verzekeren. In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de schijfwerking van een kanaalplaatvloer zonder druklaag gerealiseerd kan worden.

4.1 Stabiliteit

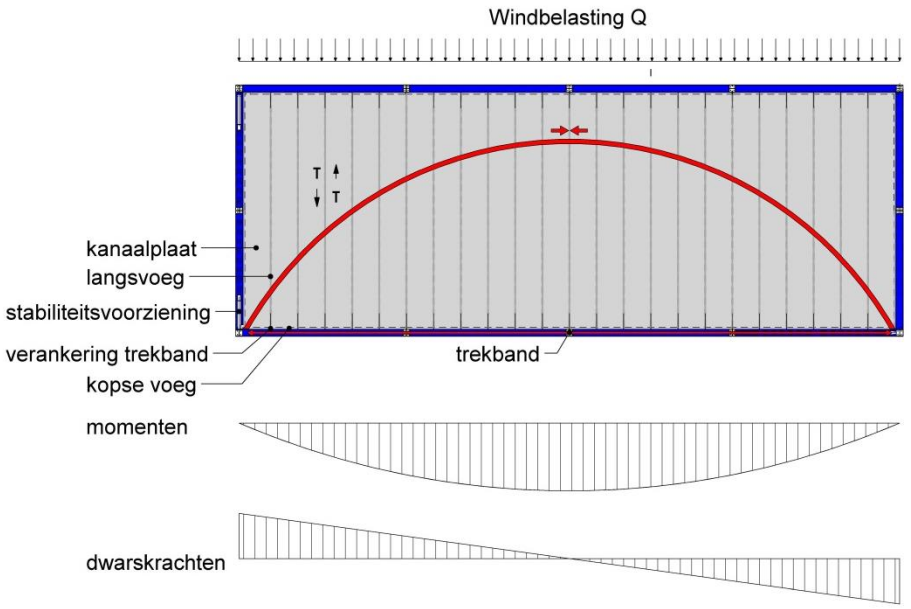
De constructieve functie van een vloer is het afdragen van verticale belastingen naar de ondergrond. Dit levert geen problemen op wanneer de kanaalplaten remontabel toegepast worden in de constructie. De prefab constructie elementen kunnen zoals gebruikelijk op elkaar gestapeld worden. De met mortel gevulde voegen tussen de vloerelementen verspreiden de verticale belastingen over de kanaalplaatvloer die vervolgens deze krachten afdragen op de, op druk belaste opleggingen.

Om de horizontale krachten op te vangen worden bij skeletconstructies stabiliteitsvoorzieningen aangebracht zoals stijve kernen, wanden en/of windverbanden. Deze horizontale krachten veroorzaakt door bijvoorbeeld wind en scheefstand van kolommen worden door middel van schijfwerking van de vloeren en de daken overgedragen naar deze stabiliteitsvoorzieningen. (CUR, 1990)

Het vloerveld heeft dus een belangrijk rol in de samenhang en stijfheid van de constructie. Om deze krachten te kunnen overdragen moet de vloerconstructie voldoende sterkte en stijfheid krijgen, de kanaalplaten moeten als één vloerschijf gaan samenwerken.

4.2 Drukboog-trekband systeem

Door een horizontale belasting ontstaat er een buigend moment in het vlak van de vloer. Dit buigend moment wordt opgenomen volgens het drukboog-trekband systeem waarbij alle vloerplaten



Figuur 4-1 Drukboog trekband principe

samenwerken. Dit is weergegeven in figuur 4-1. De drukkrachten worden hierbij opgevangen door de drukboog. De trekband wordt aangebracht rondom het vloerveld en neemt de trekkrachten op.

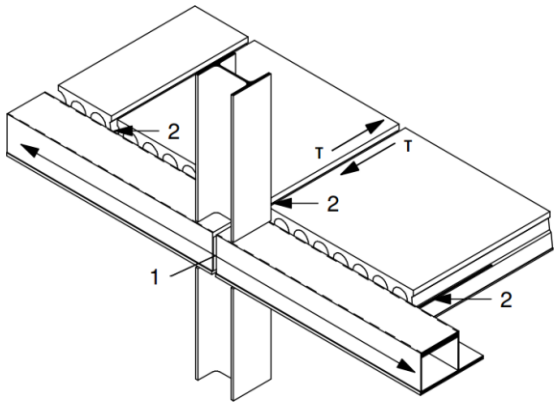
4.2.1 Trekband

De trekband omsluit het vloerveld en neemt de trekkrachten op die worden veroorzaakt door het buigend moment. Deze wordt tot stand gebracht door een in het werk gestorte gewapende druklaag of gewapende randbalk. De trekband wordt bij de remontabele toepassing gerealiseerd door de geïntegreerde of onderliggende stalen liggers door te koppelen.

4.2.2 Drukboog

De drukboog wordt tot stand gebracht door samenwerking van de kanaalplaten zodat er een vloerschijf ontstaat. Om deze vloerschijf te creëren worden de kanaalplaten aan elkaar gekoppeld door de voegen aan te storten zodat deze de krachten kan overdragen. Wanneer het vloerveld ingesloten wordt ontstaat er voldoende schuifkrachtcapaciteit in de langsvoegen en gaan alle kanaalplaten samenwerken tot één vloerschijf. Het insluiten van de vloerschijf is afhankelijk van de toepassing van de liggers, geïntegreerd of onder de vloer.

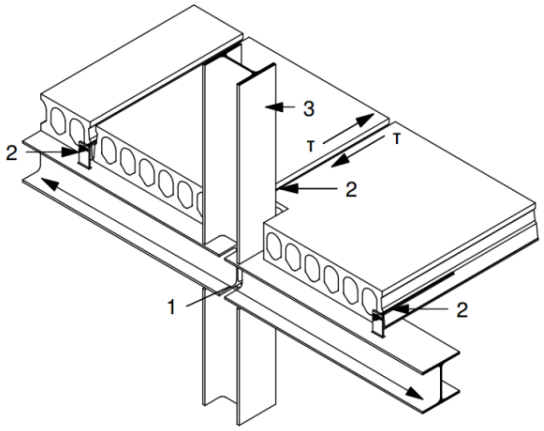
<u>Liggers geïntegreerd in de vloerhoogte</u>
Wanneer de liggers geïntegreerd zijn in de vloer kunnen deze de vloer ook opsluiten. Hierbij bevindt de trekband zich rondom het vloerveld en wordt de ruimte tussen de kanaalplaten en de ligger aangestort. Doordat de ligger als trekband fungeert, wordt het vloerveld direct gekoppeld met de trekband: afbeelding 4-2.



Figuur 4-2 Verbinding ligger geïntegreerd

1. Trekband en opsluiting vloerveld: geïntegreerde ligger
2. Koppelstaaf in langsvoeg

<u>Liggers onder de vloer</u>
Wanneer de liggers zich onder de vloer bevinden kunnen deze de vloer niet insluiten. De vloer kan dan ingesloten worden door de kolommen. Ter plaatse van de kolommen worden hoeksparingen aangebracht in de kanaalplaat. De ruimte hiertussen wordt vervolgens aangestort. Op deze manier gaan de kolommen werken als deuvels die het vloerveld opsluiten. Via de kolommen is het vloerveld gekoppeld met de trekband: afbeelding 4-3.



Figuur 4-3 Verbinding ligger onder vloer

1. Trekband: ligger onder de vloer
2. Koppelstaven in langsvoeg
3. Kolom die werkt als deuvel om het vloerveld in te sluiten en te koppelen met de onderliggende trekband.

Er wordt geadviseerd de liggers te integreren in de kanaalplaatvloer, omdat hierbij de kanaalplaat niet aangetast wordt door hoeksparingen. Dit maakt deze toepassing beter geschikt voor hergebruik.

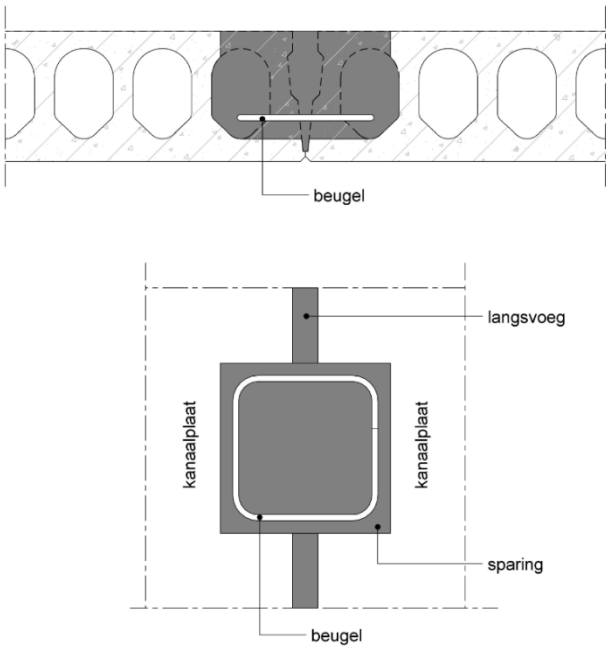
4.3 Krachtswerking in de vloerschijf

Door de drukkrachten uit de drukboog ontstaan er schuifkrachten in het vloerveld. Deze schuifkrachten moeten opgenomen worden door de langsvoeg tussen de kanaalplaten. De grootst optredende schuifkrachten bevinden zich aan de rand van het vloerveld tussen de buitenste platen. Een normale ongewapende langsvoeg kan een schuifspanning van

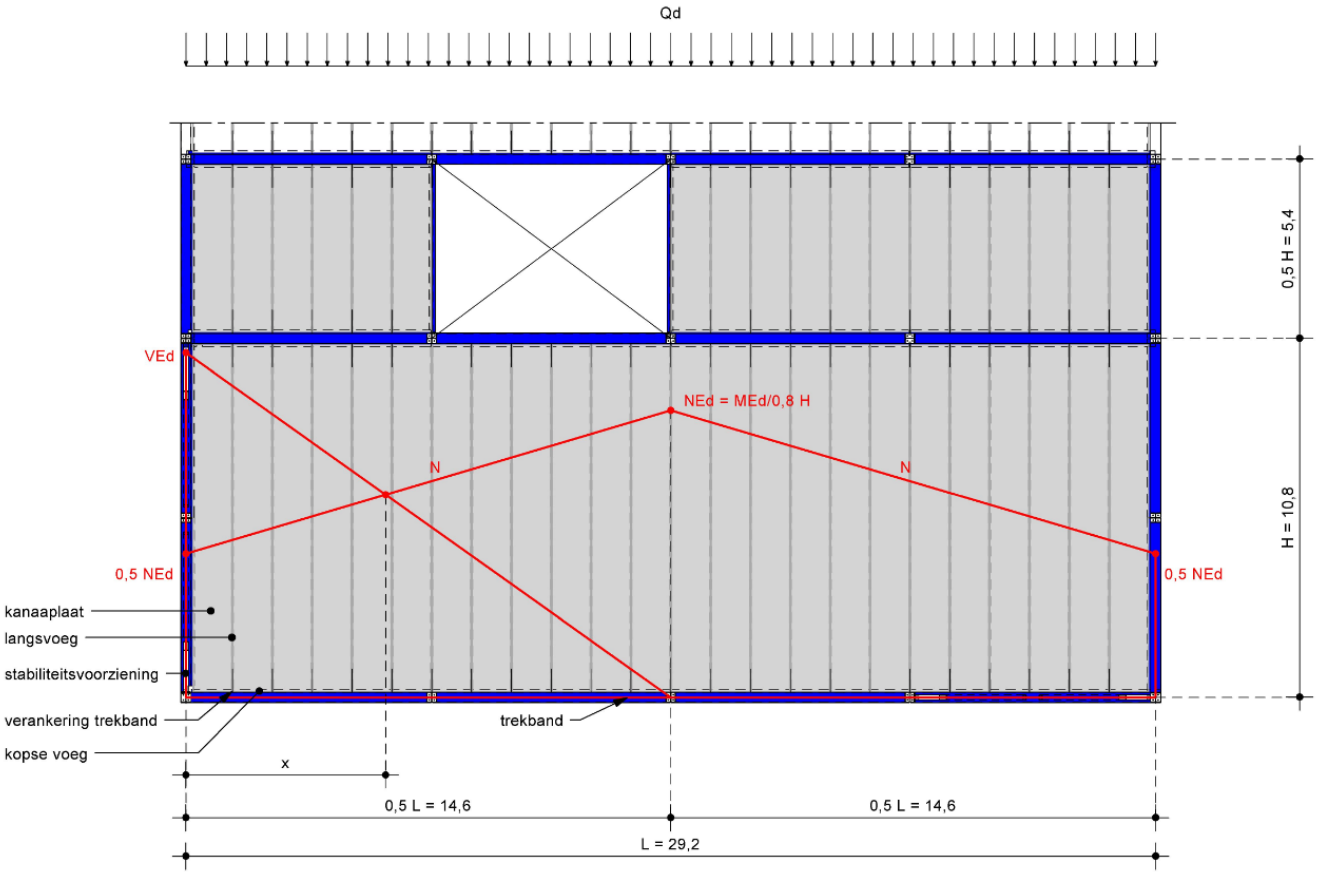
0,10 N/mm² opnemen. Wanneer deze overschreden wordt moeten er extra voorzieningen getroffen worden.

4.3.1 Berekening schijfwerking

Hoe de schuifspanningen in de voeg berekend kunnen worden is beschreven in CUR rapport 136. Er is een voorbeeldberekening gemaakt van de schijfwerking. Deze is te vinden in bijlage 07. Uit de berekening blijkt dat de toelaatbare schuifspanning van 0,10 N/mm² niet wordt overschreden. In figuur 4-4 is het schematisch verloop van de normaaldrukkracht (NEd) en van de dwarskracht (VEd) weergegeven. Hier is te zien dat bij de eerste 4 voegen vanuit het stabiliteitselement de opneembare schuifkracht overschreden wordt. Er zijn hier voorzieningen benodigd om de schuifkrachten te kunnen afdragen naar de stabiliserende elementen. Dit kan gedaan worden door zogenoemde deuvelsparingen (figuur 4-5). Deze bestaat uit een sparing waarin een beugel wordt aangebracht en aangestort.



Figuur 4-5 Deuvelsparing in langsvoeg



Figuur 4-4 Krachtenverloop in vloerveld schematisch

4.3.2 Geprofileerde voeg

Door een deuvelsparing toe te passen in de langsvoeg wordt de demontage van de kanaalplaat beperkt. Om deze reden is de mogelijkheid onderzocht om een geprofileerde voeg toe te passen. Naast dat de geprofileerde voeg demontabel is worden de krachten ook beter verdeeld over de gehele lengte van de kanaalplaat.

Bij toepassing van een geprofileerde voeg wordt de schuifkrachtcapaciteit van de langsvoeg vergroot door profilering aan te brengen aan de zijkant van de kanaalplaat. Weergegeven in figuur 4-6. Door de vorm van deze voeg ontstaan er tussen twee kanaalplaten drukdiagonalen die de schuifspanningen beter overdragen. De opneembare schuifkracht van de geprofileerde voeg is berekend in bijlage 07. Uit de berekening blijkt dat de maximaal opneembare schuifkracht is toegenomen met een factor 3.4 ten opzichte van een gladde voeg.

Een gedeukte geprofileerde voeg past goed binnen het productieproces van VBI. Wieltjes voorzien van een vertanding kunnen bevestigd worden aan de achterzijde van de slipvormmachine. Deze draaien mee als de machine zich voortbeweegt en hierdoor ontstaan er deuken aan de langszijde van de kanaalplaat.

Figuur 4-6 Kanaalplaat met geprofileerde voeg (bron: ORAK Factory Co., 2015)

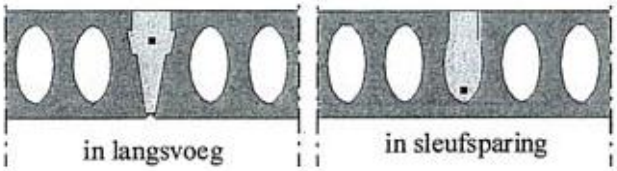
4.4 Verbinding kanaalplaat-ligger

Om de schijfwerking en samenhang te verzekeren moeten de vloerplaten ter plaatse van de oplegging verbonden worden met de staalconstructie. Dit wordt gedaan met koppelstaven in de langsvoeg tussen de kanaalplaten. In verband met de vereiste stijfheid van de trekband wordt geadviseerd om voor de koppelstaven een minimale diameter van Ø12 mm toe te passen. (CUR, 1990)

4.4.1 Torsie

De meest toegepaste methode om de kanaalplaat te koppelen aan de staalconstructie door middel van een staaf ingestort in een sleufsparing. Een koppelstaaf in de langsvoeg heeft nadelen ten opzicht van een koppelstaaf in een sleufsparing. Wanneer de ligger geïntegreerd is toegepast liggen de kanaalplaten verder uit het hart van de ligger. Ten gevolge van de verticale belasting van de kanaalplaat en de arm tot het lijf ontstaat er dan torsie in de ligger.

Om dit te voorkomen wordt er vaak voor gekozen om de kanaalplaat met behulp van koppelstaven in sleufsparingen te koppelen aan de ligger zodat deze minder snel tordeert. Door de vorm van de langsvoeg kan de staaf niet onderin de kanaalplaat geplaatst worden en door deze vergrote arm heeft deze niet zijn gewenste effect. Om dit toch te voorkomen kan een ligger toegepast worden die meer torsie stijf is. Zoals een THQ- ofwel hoed-ligger.



Figuur 4-7 positie koppelstaaf in langsvoeg of sleufsparing (Bron: bouwen met staal, z.d.)

5 AANBEVELINGEN VOOR ONTWERPEN

De kracht van de kanaalplaat is dat het een heel element is met een vaste afmeting. Om deze zo geschikt mogelijk te houden voor hergebruik is het belangrijk dat er efficiënt ontworpen wordt zodat de elementen zo zuiver mogelijk blijven. In dit hoofdstuk worden aanbevelingen gedaan hoe een gebouw het beste ontworpen kan worden zodat de kanaalplaten geschikt zijn voor hergebruik.

5.1 Ontwerpen gebouwstructuur

Om de draagstructuur van het gebouw te kunnen demonteren en hergebruiken wordt geadviseerd de kolommen per verdieping te splitsen en middels boutverbindingen te verbinden met de liggers.

Om zoveel mogelijk vloerplaten te kunnen hergebruiken is het belangrijk dat er geen pasplaten worden toegepast. Deze platen hebben een afwijkende maat en zijn om deze reden niet geschikt voor hergebruik. Om dit te voorkomen wordt aangeraden het vloerveld te ontwerpen met een veelvuldige breedte van de kanaalplaat, 1,2 meter. Voor de lengte van het vloerveld wordt aangeraden een standaard maatvoering te nemen. Het is praktisch om de stramienen te kiezen op een veelvoud van 300 mm, onnodige variatie wordt hiermee vermeden. De voorkeurs lengtematen zijn vastgelegd, deze zijn afhankelijk van de dikte van de kanaalplaten en de voorkomende belasting. Bij een vloerbelasting van 4 kN/m^2 wordt geadviseerd de stramienmaten aan te houden zoals aangegeven in de onderstaande tabel (figuur 5-1).

Dikte kanaalplaat	overspanningslengte
200 mm	7,20 m
260 mm	10,80 m
320 mm	12,60 m
400 mm	14,40 m

Figuur 5-1 Tabel stramienmaten vloerveld

5.2 Sparingen

Om de kanaalplaat geschikt te houden voor gebouwonafhankelijk hergebruik kan deze het beste zo min mogelijk aangetast worden. Vermijd het aantal sparingen in het vloerveld. Voor schachten en trappengaten wordt aanbevolen deze te verzamelen op centrale plekken.

In de utiliteitsbouw worden voor trappenhuizen vaak grote sparingen gemaakt. Aangeraden wordt om deze sparingen te creëren in een smaller vloerveld door het weglaten van kanaalplaten. De sparingen hebben dan een veelvuldige breedte van 1.20 meter.

Voor leidingen die de kanaalplaat verticaal passeren wordt aangeraden deze te plaatsen bij een trapgat of kern. Wanneer dit niet mogelijk is kan het beste een leidingschacht toegepast worden. De leidingen kunnen dan op centrale punten in het gebouw de vloer passeren. Dit kan gerealiseerd worden met een raveelijzer. Een raveelijzer kan tot 3 kanaalplaten opvangen ter plaatse van een uitsparing in de vloer. Langs liggende kanaalplaten worden hierbij als raveelplaat gebruikt waarop het raveelijzer steunt. Bij hergebruik kunnen deze platen toegepast worden bij gebouwen met een kortere overspanning of opnieuw ter plaatse van een sparing toegepast worden.

5.3 Vloerafwerking

Om de vloer te kunnen hergebruiken is het belangrijk dat er ook een demontabele vloerafwerking toegepast wordt. Bovenop een kanaalplaat wordt meestal een dekvloer aangebracht een dekvloer heeft de volgende functies:

- Gewenste vloerhoogte te behalen
- Vlakke ondergrond voor afwerking (egaliseren);
- Vloerafwerking;
- Wegwerken van leidingen.

5.3.1 Natte dekvloer

In 2005 zijn er bij VBI testen uitgevoerd in samenwerking met Nijhuis bouw ten behoeve van de demontabelheid van een cementdekvloer.
Uit de resultaten is gebleken dat een cementdekvloer eenvoudig te verwijderen is van een kanaalplaatvloer. Zie figuur 5-2.

Figuur 5-2 testopstelling cementdekvloer

5.3.2 Natte zwevende dekvloer

Een niet hechtende dekvloer draagt amper bij aan de akoestische prestatie van de totale vloer. Wanneer dit wel de wens is kan er een zwevende dekvloer toegepast worden. Bij een zwevende dekvloer wordt de dekvloer aangebracht op isolatiemateriaal. Het isolatie materiaal heeft vaak een akoestische of thermische functie. De zwevende dekvloer is goed te demonteren omdat het isolatiemateriaal aanhechting met de kanaalplaatvloer voorkomt.

5.3.3 Droge zwevende dekvloer

Een droge zwevende dekvloer is een dekvloer die bestaat uit isolatie en cementvezelplaten. Deze vloer is een stuk lichter dan de natte zwevende dekvloer en eenvoudiger te demonteren.

5.3.4 Verhoogde vloer

Een verhoogde vloer, bijvoorbeeld een computervloer, is een demontabele vloer opgebouwd uit een stalen onderconstructie waarop panelen geplaatst worden met een afmeting van 600 bij 600 mm. Er ontstaat hierbij ruimte tussen de verhoogde vloer en de kanaalplaat deze ruimte kan gebruikt worden om installaties in aan te brengen en voor de luchtbehandeling. De verhoogde vloer is een droge vloer en hierdoor is deze snel te monteren en ook eenvoudig te demonteren. De verhoogde vloer kan direct geplaatst worden op de ruwe kanaalplaatvloer. De verhoogde vloer is het eenvoudigst te demonteren en hergebruiken, om deze redenen wordt aangeraden een verhoogde vloer toe te passen over de constructieve kanaalplaatvloer.

5.3.5 Eindafwerking

Tegels geven een te hoge geconcentreerde belasting op de kanaalplaat wanneer deze belasting niet verdeeld kan worden door een druklaag. Het toepassen van natte vloerafwerking of vloerafwerking dat verlijmd wordt, wordt afgeraden omdat deze de demontage van de constructieve vloer beperkt.

5.4 Plafond

Bij een kanaalplaatvloer is er tussen de platen aan de onderzijde een v-naad te zien, om deze reden wordt de onderzijde van de kanaalplaat vaak afgewerkt met een plafond. Er wordt aangeraden om onder de remontabele kanaalplaten ook een demontabel plafond toegepast worden.

5.4.1 Verlaagd plafond

Het meeste toegepaste verlaagd plafond is een systeemplafond. Dit is een demontabel systeem waarbij profielen aan de vloer worden gehangen en vervolgens met panelen van 600x600 mm wordt dichtgezet. Bij een verlaagd plafond is er voldoende ruimte om installaties aan te brengen in het plafond. Leidingen en bedrading kunnen dan uit de vloer gelaten worden.

Wanneer er een systeemplafond toegepast wordt bevinden zich na demontage gaten in de onderzijde van de kanaalplaat. Om dit te voorkomen kunnen er strippen aan de onderzijde van de kanaalplaat gemonteerd worden waar het plafond eenvoudig aan bevestigd kan worden. Bij hergebruik van de kanaalplaat kan hieraan opnieuw een plafond bevestigd worden.

6 DEMONTAGE

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe de kanaalplaten op een eenvoudige en veilige wijze gedemonteerd kunnen worden. Dit is een onderdeel waar extra aandacht aan besteed moet worden om deze zonder problemen en veilig te laten verlopen.

6.1 Demontage

Om de demontage veilig te laten verlopen en te voorkomen dat er schade ontstaat aan de kanaalplaat is het belangrijk dat het demontageproces duidelijk wordt uitgewerkt.

6.1.1 Volgorde demontage

Het demonteren van een gebouw gaat op dezelfde wijze als het bouwen van een gebouw, alleen dan in tegengestelde richting. Allereerst wordt het interieur verwijderd, daarna worden alle overige niet-constructieve elementen gedemonteerd totdat alleen de hoofddraagconstructie van het gebouw overblijft. De hoofddraagconstructie wordt per bouwlaag gedemonteerd waarbij er met de bovenste verdieping wordt begonnen en als laatste de fundering wordt gedemonteerd.

Als eerste wordt, waar nodig de constructie gestabiliseerd met behulp van schoren, op deze manier blijven de overige elementen staan wanneer een onderdeel weggehaald wordt. De kanaalplaten zitten opgesloten in het vloerveld door de trekband. Wanneer deze losgekoppeld wordt liggen de kanaalplaten los op de constructie en kunnen deze een voor een uit het gebouw gehesen worden.

6.1.2 Veiligheid tijdens de demontage

Tijdens de demontage is veiligheid het belangrijkste aandachtspunt. Er moet hier meer aandacht aan besteed worden dan bij sloop omdat bij het demonteren van een gebouw het personeel op de bouwplaats veel dichter op het gebouw te werk gaat met kleiner materieel. De stabiliteit moet bij de demontage te allen tijde verzekerd zijn en een goed inzicht in de krachtwerking van het gebouw is een vereiste. Vooraf moet gecontroleerd worden of de constructie overeenstemt met de tekening en of deze tijdens gebruik beschadigd is. De stabiliteit van de constructie wordt gewaarborgd doordat verschillende elementen samenwerken, wanneer daar een onderdeel van weggehaald wordt is de constructie niet meer stabiel en moet deze geschoord worden. (Naber, 2012)

6.1.3 Hijsen kanaalplaten

Er zijn veel verschillende hijsmethoden voor kanaalplaten. Omdat bij het hijsen van de kanaalplaat tijdens de demontage de voeg nog vast zit is er extra kracht benodigd om deze los te breken. Om deze reden moet de hijsmethode sterk zijn. Om de kanaalplaat niet aan te tasten wordt aangeraden een hijsmethode buiten het element toe te passen. Er worden twee mogelijke hijsmethode beschreven. Hijsen met een klem of vork.

<u>Hijsklem</u>
Wanneer je de kanaalplaat op dezelfde manier wilt hijsen als bij de montage, met behulp van klemmen, dient eerst het bovenste gedeelte van de langsvoegen tussen de kanaalplaten ter plaatse van de klemmen verwijderd worden. Hierdoor ontstaat er ruimte voor de klemmen om de kanaalplaat op te tillen.

Figuur 6-1 Hijsklem (Bron: Leenstra ,z.d.)

Voordeel:
- Veilig systeem
- Eenvoudige bediening met veel ervaring
- Gecontroleerd hijsen

Nadeel:
- De voeg moet vooraf verwijderd worden

Sorteergrijper
Een andere mogelijkheid is om door middel van een sorteergrijper de kanaalplaten uit het gebouw te tillen.

Figuur 6-2 Sorteergrijper

Voordeel:
- Eenvoudige bediening
- Geen hijsvoorzieningen benodigd
- Geen personeel benodigd in het gebouw ten tijde van demontage

Nadeel:
- Beperkte reikhoogte
- Pakt de plaat op één punt vast

6.1.4 Demontageplan

Om de demontage gecontroleerd te laten verlopen zonder onveilige situaties wordt aangeraden een demontageplan op te stellen. Hierin wordt aangegeven (CUR, 1990):

- De te treffen schoorvoorzieningen
- De plaatsen van de verbindingen
- Het type verbinding
- Het stabiliteitssysteem
- De volgorde en wijze van demontage

Stap 1: Strippen tot casco
Het interieur van het gebouw wordt als eerste verwijderd. Onderdelen hiervan, zoals plafonds en eventuele toegepaste verhoogde vloer, kunnen hergebruikt worden. Alle niet-constructieve onderdelen van het gebouw worden verwijderd tot alleen de hoofddraagstructuur overblijft.

Stap 2: Stabiliteitsvoorzieningen aanbrengen
Voordat onderdelen van de hoofddraagstructuur verwijderd worden moet de stabiliteit gewaarborgd worden. Dit betekend dat er soms tijdelijke stabiliteitsvoorzieningen benodigd zijn. Bij het demonteren van de kanaalplaten is de skeletstructuur nog steeds stabiel. Wanneer er meerdere vloervelden achter elkaar liggen is het vanwege de veiligheid aan te raden om de tussenliggende liggers te onder stempelen. Dit om bezwijken ten gevolge van torsie te voorkomen wanneer de kanaalplaten aan een zijde weggehaald worden.

Stap 3: Verbinding met trekband verwijderen

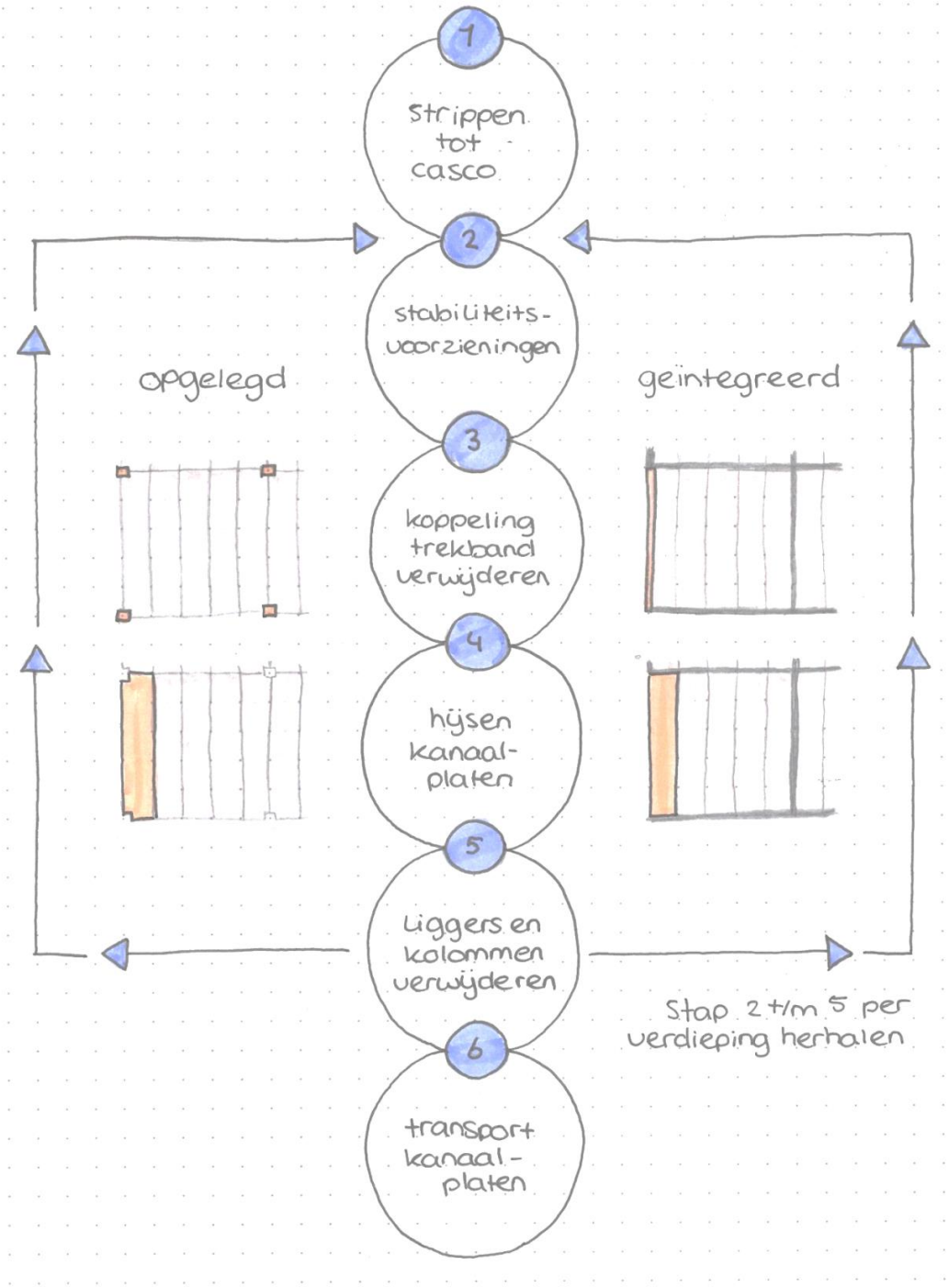
Geïntegreerd:
De trekband sluit het vloerveld rondom op. Om de kanaalplaten te kunnen demonteren dient eerst de trekband onderbroken te worden. Eerst wordt aan de langszijde van het vloerveld de ligger verwijderd. Hierdoor wordt de trekband onderbroken. en kan de eerste plaat vanaf de open zijde gedemonteerd worden.

Opgelegd:
Wanneer de kanaalplaten opgelegd zijn op de ligger worden eerst de kolommen die het vloerveld opsluiten verwijderd. De buitenste kanaalplaat kan dan als eerste weggehaald worden.

Stap 4: Hijsen kanaalplaten
De eerste plaat aan de open zijde wordt uit het vloerveld gehesen. De kanaalplaat zit enkel nog vast door een voeg met slechte aanhechting, deze laat eenvoudig los. Bij de volgende plaat bevind zich aan de kopzijden een koppelstaaf verankerd aan de ligger. Verwijder de restanten mortel rondom de koppelstaaf en de verankering met een hamer en draai vervolgens de staven los. Dit wordt herhaald totdat alle kanaalplaten van deze bouwlaag uit het gebouw zijn.

Stap 5: Liggers en kolommen verwijderen
Wanneer het vloerveld gedemonteerd is kunnen de liggers en kolommen van de bouwlaag gedemonteerd worden. Vervolgens kan voor de onderliggende bouwlaag stap 2 tot 5 herhaald worden.

Stap 6: Transporteren kanaalplaten
De kanaalplaten worden op de vrachtwagen geladen, dit zou ook rechtstreeks vanuit het gebouw kunnen. Vervolgens worden ze getransporteerd naar de volgende locatie. Dit kan een opslag zijn, de locatie van een nieuw gebouw waar ze geremonteerd worden of naar een locatie waar ze vergruisd worden zodat ze als betongranulaat weer gebruikt kunnen worden voor de productie van een nieuwe kanaalplaat.



Figuur 6-3 Stroomschema demontage

7 VOORWAARDEN VOOR HERGEBRUIK

Wanneer de kanaalplaat het einde van zijn eerste gebruik heeft bereikt is niet altijd vooraf bekend. Dit kan na slechts 5 of tot wel 200 jaar zijn. Sommige gebouwen hebben een geplande herbestemming, wanneer dit niet het geval is kan de kanaalplaat hergebruikt worden in een nieuw gebouw of gerecycled worden. De technische voorwaarden voor constructief hergebruik worden in dit hoofdstuk beschreven.

7.1 Technische voorwaarden

Om de kanaalplaten aan het einde van zijn eerste levensduur constructief te hergebruiken moet deze voldoen aan de volgende technische voorwaarden:

- De kanaalplaat moet beschikken over een dossier met daarin de eigenschappen van het element;
- De kanaalplaat moet voldoen aan de dan geldende regelgeving.

Het risico dat de kanaalplaat niet meer voldoet aan deze technische voorwaarden wordt groter bij een langere periode tussen eerste montage en hergebruik.

7.1.1 Identiteit

Om de kanaalplaat hoogwaardig te kunnen hergebruiken in de keten en om te voorkomen dat materiaal afval wordt, moeten bouwmaterialen 'identiteit' hebben (Straver, 2016). Om de kanaalplaten eenvoudig te kunnen documenteren moeten deze als een uniek element gezien worden. Aan de identiteit van een de kanaalplaat moet een dossier gehangen worden. Het toedienen van een identiteit kan per individuele plaat of per plaat in een gebouw.

Bij hergebruik moet bekend zijn welke identiteit bij de kanaalplaat hoort. Dit wordt momenteel aangegeven op tekening, op een kaartje aan de kanaalplaat en het wordt erop gespoten. Bij demontage is het waarschijnlijk dat dit enkel nog op tekening terug te vinden is. Omdat kanaalplaten altijd op volgorde gelegd worden is het voor elk gebouw precies bekend welke plaat zich waar in het gebouw bevindt. Met behulp van de tekeningen dienen de kanaalplaten voor demontage opnieuw gemerkt te worden. Wanneer de kanaalplaten eenmaal uit het gebouw zijn gehaald kan het zijn dat de identiteit niet meer te achterhalen is.

Dossier

Wanneer een kanaalplaat constructief hergebruikt wordt moet deze voldoen een de eisen voor sterkte en stijfheid. De eigenschappen van de tweedehands kanaalplaten moeten dan bekend zijn. Er moet een dossier komen waarin deze gegevens gedocumenteerd worden. Wijzigingen aan de elementen worden hierin bijgehouden.

Het Madaster Foundation heeft hiervoor het materialenpaspoort ontwikkeld. Madaster beschouwt een gebouw als een depot van materialen met een intrinsieke waarde op een product-, component- en materiaalniveau. (RAU, 2017) Deze materiaalpaspoorten worden vervolgens opgeslagen in het online platform van Madaster. Bij remontage of andere wijzigingen aan het gebouw kunnen hierin alle eigenschappen van het gebouw en de elementen hierin geraadpleegd worden.

Het kan ook mogelijk zijn dat VBI de gegevens van de kanaalplaat bewaard voor de klant. Een voorwaarde is dan wel dat wijzigingen overlegd moeten worden. VBI heeft dan meer controle over de elementen en kan ze aan het einde van hun levensduur eenvoudiger hergebruiken.

7.1.2 Veranderingen in de regelgeving

Bij constructief hergebruik moet de kanaalplaat uiteraard voldoen aan de dan geldende regelgeving. Het kan echter voorkomen dat wanneer de kanaalplaten over een aantal jaar uit het gebouw gehaald worden de regelgeving ondertussen veranderd is en dat de kanaalplaat hier niet langer aan voldoet. De eisen voor de opneembare belasting kunnen bijvoorbeeld zijn verhoogd. De vloeren zouden dan toegepast kunnen worden in een gebouw waarin lagere belastingen voorkomen. Zo kan bijvoorbeeld een vloer die uit een kantoorgebouw is gehaald toegepast worden in een woning. Het is ook mogelijk om de kanaalplaat in te korten en toe te passen bij een kleinere overspanning.

Het kan ook voorkomen dat de eisen voor de sterkte van de vloer bij brand verhoogd zijn. De brandwerendheid van de kanaalplaat moet dan verhoogd worden door deze te behandelen of door de dekking van het beton te vergroten. De eisen voor sterkte bij brand zijn afhankelijk van de gebruiksfunctie en bouwhoogte. Hierbij zou de vloer hergebruikt kunnen worden in een gebouw met een lagere eis.

7.2 Hergebruiken kanaalplaat

Wanneer het remontabele gebouw het einde van zijn eerste levensduur bereikt heeft kunnen er verschillende keuzes gemaakt worden wat er met het gebouw en de elementen hierin gaat gebeuren.

7.2.1 Nieuwe bestemming gebouw

Het gehele gebouw kan hergebruikt worden op een nieuwe locatie. Dit is waarschijnlijk wanneer het gebouw een korte levensduur heeft gehad. De nieuwe bestemming van het gebouw kan vooraf al bekend zijn of moet tijdens het gebruik bepaald worden wanneer bekend wordt dat het gebouw gedemonteerd gaat worden. Bij hergebruik van elementen is het aan te bevelen om het organisatorisch dusdanig op elkaar af te stemmen dat de elementen zonder tussenopslag naar de nieuwe locatie kunnen worden getransporteerd. Een nadeel is dat het gebouw top-down gedemonteerd wordt. Hierdoor moet eerst het gehele gebouw afgebroken worden voor dat deze geremonteerd kan worden. Er moet dus voldoende aandacht besteedt worden aan de logistiek van het demonteren en remonteren op een nieuwe locatie.
Bij remontage kan er gekozen worden om de kanaalplaat opnieuw remontabel toe te passen of nu permanent toe te passen. Wanneer deze remontabel toegepast wordt kan dit gewoon op dezelfde wijze als bij montage. Eventueleel moeten er eerst kleine reparaties gedaan worden en moet resterend beton van aanstorting van de kanaalplaat verwijderd worden.

7.2.2 Retourname kanaalplaat door VBI

VBI kan na gebruik de kanaalplaat ook terugnemen wanneer er geen nieuwe bestemming is voor het gebouw. Bij een aantal orders wordt al verkocht dat VBI voor €0, - aan de poort de kanaalplaat kan terugnemen. VBI geeft hierbij de klant recht om het element te retourneren aan het einde van de levensduur. VBI kan vervolgens de keuze maken wat er gebeurd met de tweedehandse kanaalplaat (T. van der Wal, persoonlijke mededeling, 9 mei 2017):

<u>Constructief hergebruik</u>
Een mogelijkheid is om de kanaalplaat te verkopen als tweedehands kanaalplaat voor een nieuw gebouw. Hierbij moet de kanaalplaat voldoen aan de technische voorwaarden voor constructief hergebruik.

<u>Niet-constructief hergebruik</u>
Wanneer de kanaalplaat niet voldoet aan de technische voorwaarden kan de kanaalplaat hergebruikt worden voor landbouwwegen.

<u>Recycling</u>
VBI kan er ook voor kiezen om de kanaalplaat te recyclen door deze te vergruizen en het betongranulaat te hergebruiken voor het produceren van een nieuwe kanaalplaat.

8 REMONTABELE DETAILS

Dit hoofdstuk laat zien hoe remontabele draagstructuren met kanaalplaten zijn gedetailleerd. Twee draagstructuren worden uitgewerkt.

8.1 Omschrijving draagstructuren

Voor de detaillering en het maken van de voorbeeldberekeningen in dit onderzoek, is gebruik gemaakt van een fictief gebouw. Dit casusgebouw is opgezet met twee verschillende draagstructuren, namelijk draagstructuur A, bestaande uit stalen kolommen met stalen THQ-liggers geïntegreerd in de kanaalplaatvloer en draagstructuur B: met stalen kolommen en stalen liggers, walsprofielen, onder de kanaalplaatvloer.

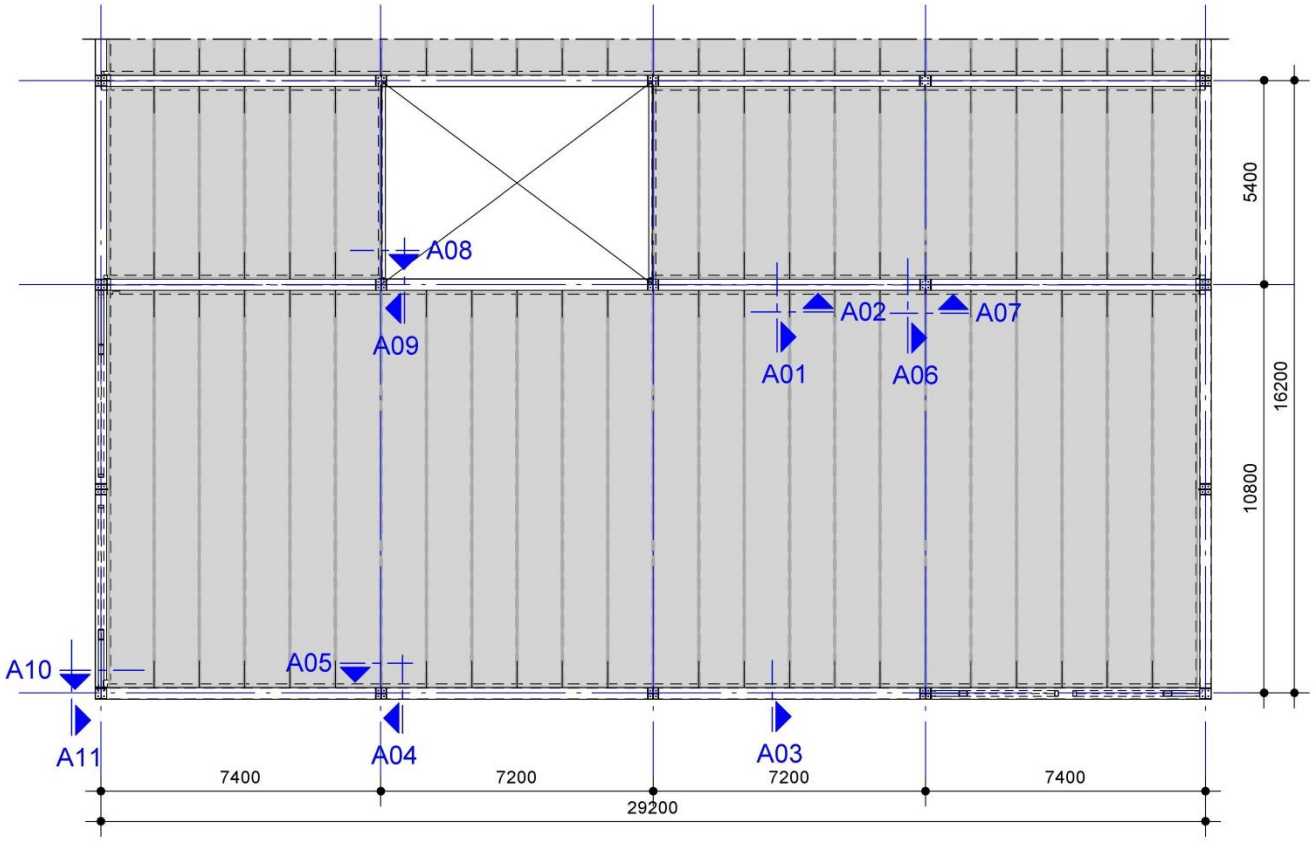
Bij beide draagstructuren worden de verticale belastingen via de kolommen afgedragen naar de fundering. De horizontale krachtenafdracht wordt verzorgd door schijfwerking van de vloeren zoals beschreven in hoofdstuk 4. De vloeren dragen vervolgens de krachten via de stabiliteitselementen af naar de fundering.

De indeling van het casusgebouw bestaat uit twee vloervelden. De vloervelden hebben een overspanning van 5,40 m en 10,80 m. Er is een beukmaat van 7,20 m aangehouden met een verdiepingshoogte van 3,60 m. In het smalle vloerveld bevindt zich een trapgat. Verder bevindt zich in de gevel op as 1 en as A een windverband.

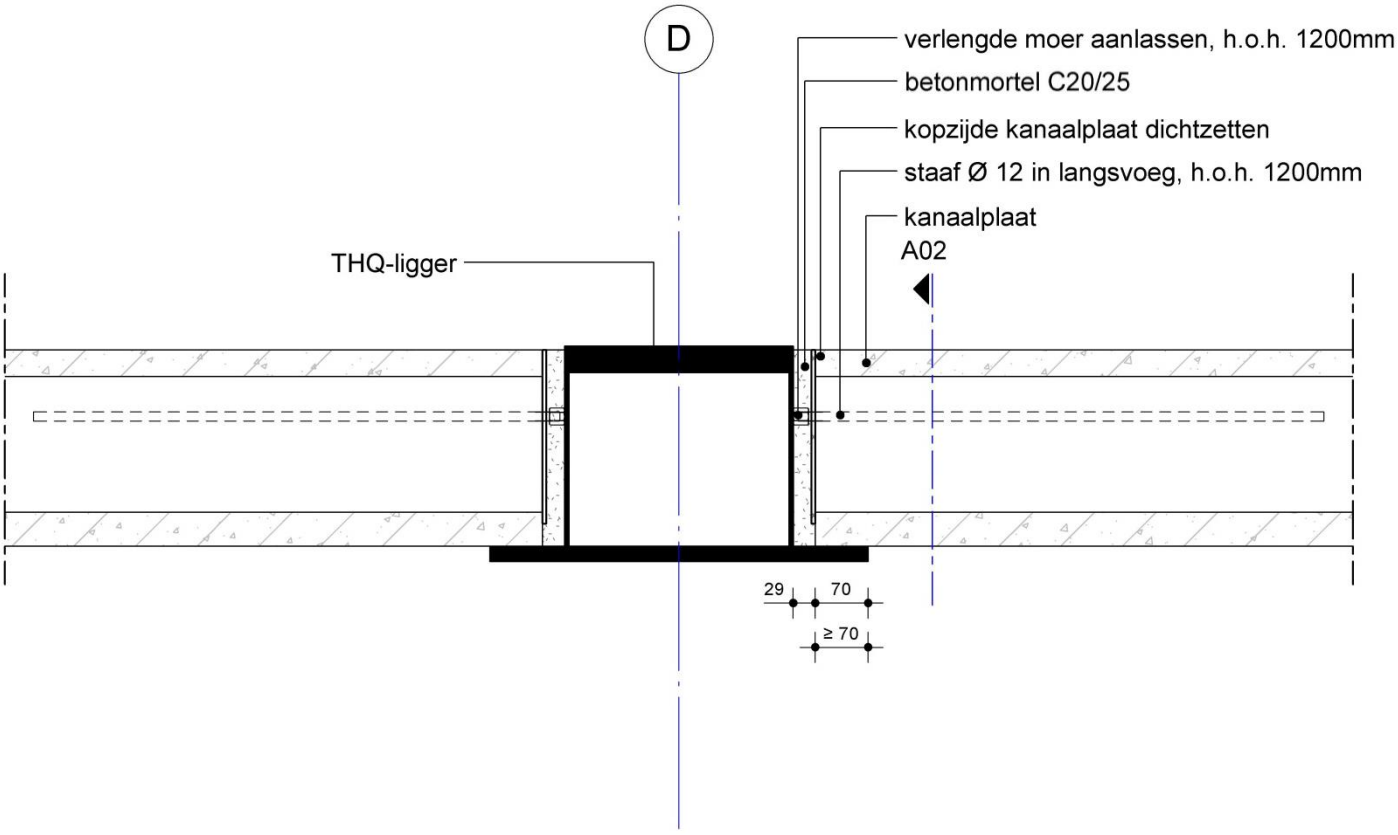
8.2 Details

Voor beide draagstructuren zijn 11 constructieve details uitgewerkt, de details zijn getekend op schaal 1:10. Waar de details zich in het gebouw bevinden is weergegeven in de plattegronden.

Details draagstructuur A



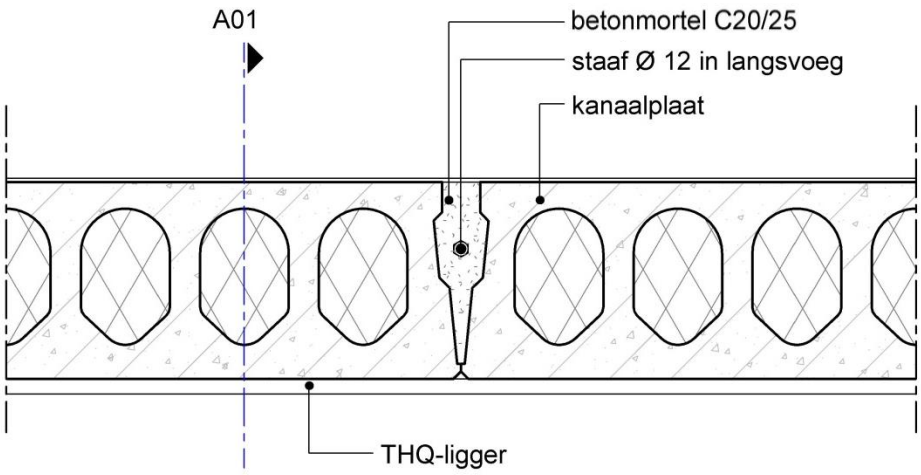
Oplegging middenbalk A01



Toelichting:

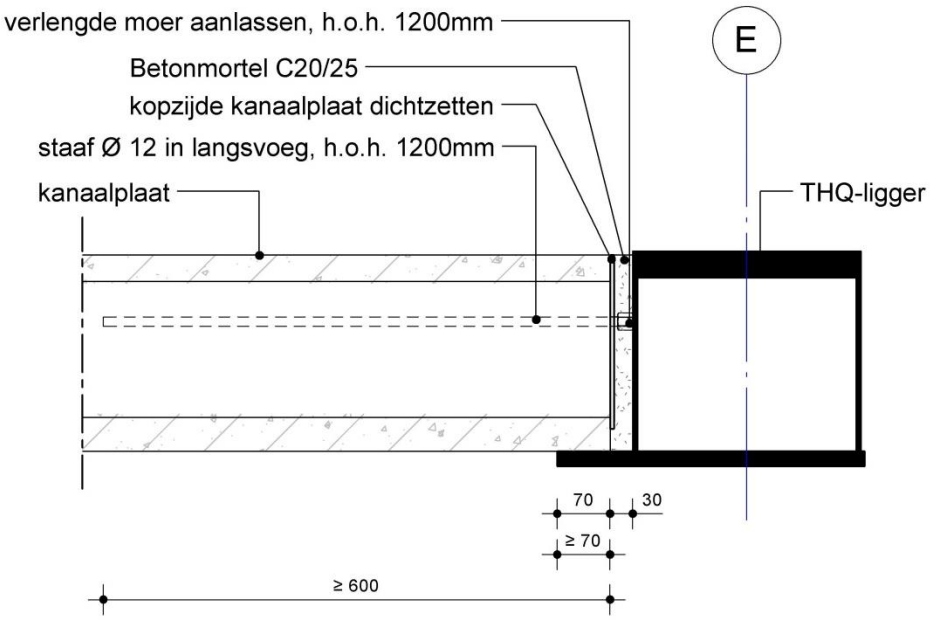
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de koppelstaven aangebracht in de langsvoegen en de kopzijden van de kanaalplaten dichtgezet met een vlak materiaal in plaats van kanaaldeksels. Op deze manier wordt aanhechting voorkomen en breekt de voeg bij demontage van de kanaalplaat gemakkelijk los.

Aanzicht oplegging middenbalk A02



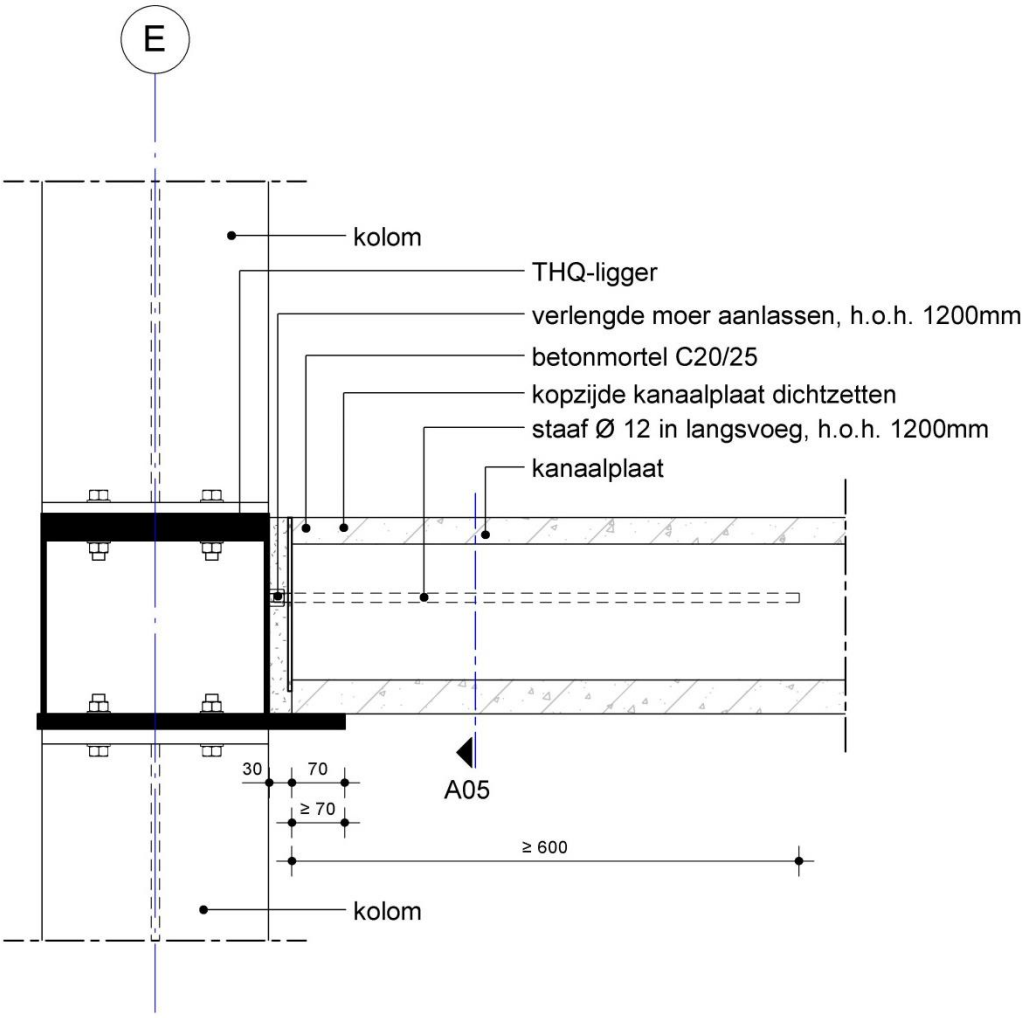
Toelichting:
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de koppelstaven aangebracht in de langsvoegen.

Oplegging randbalk A03



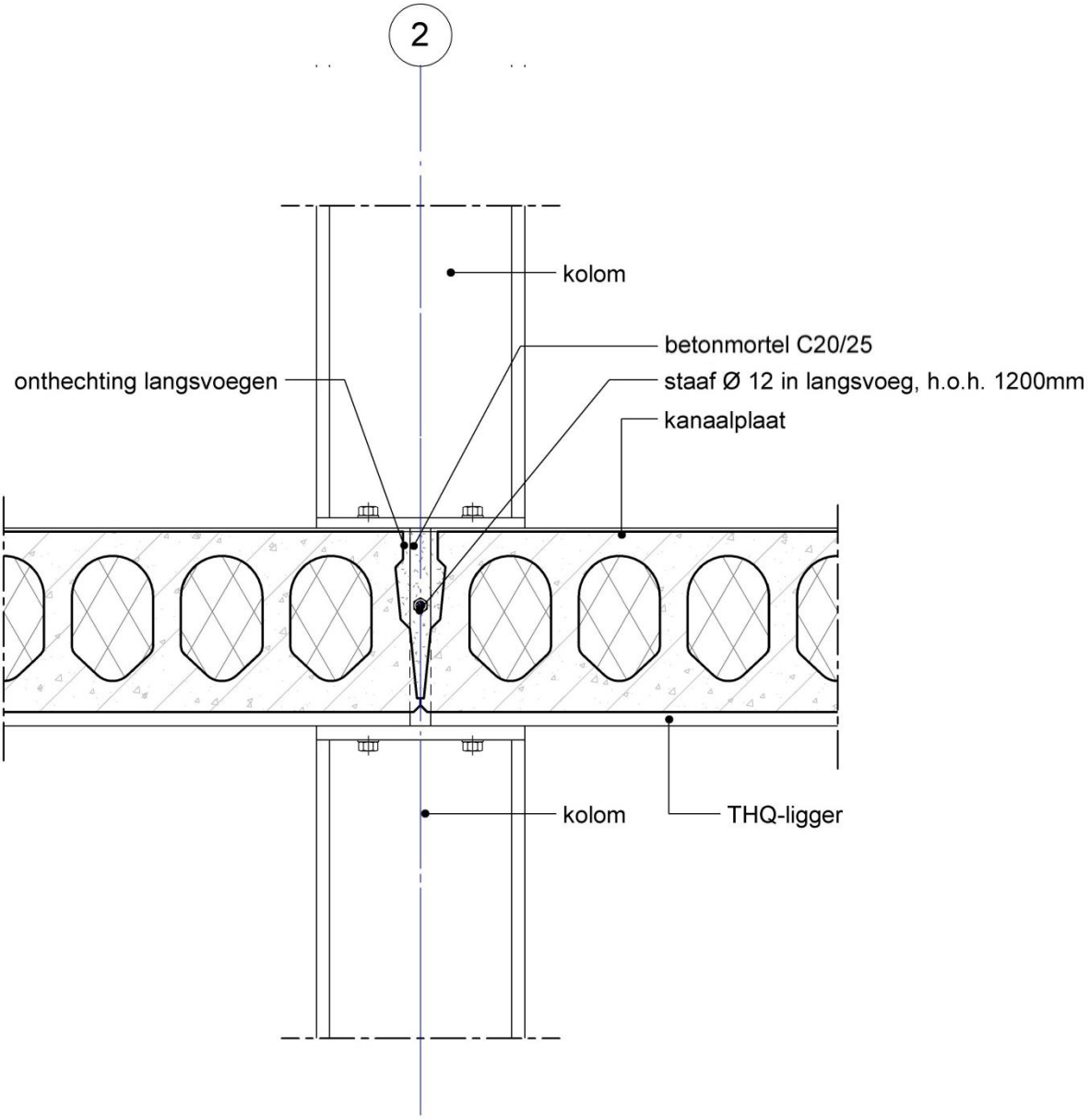
Toelichting:
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de koppelstaven aangebracht in de langsvoegen.

Oplegging randbalk t.p.v. kolom A04



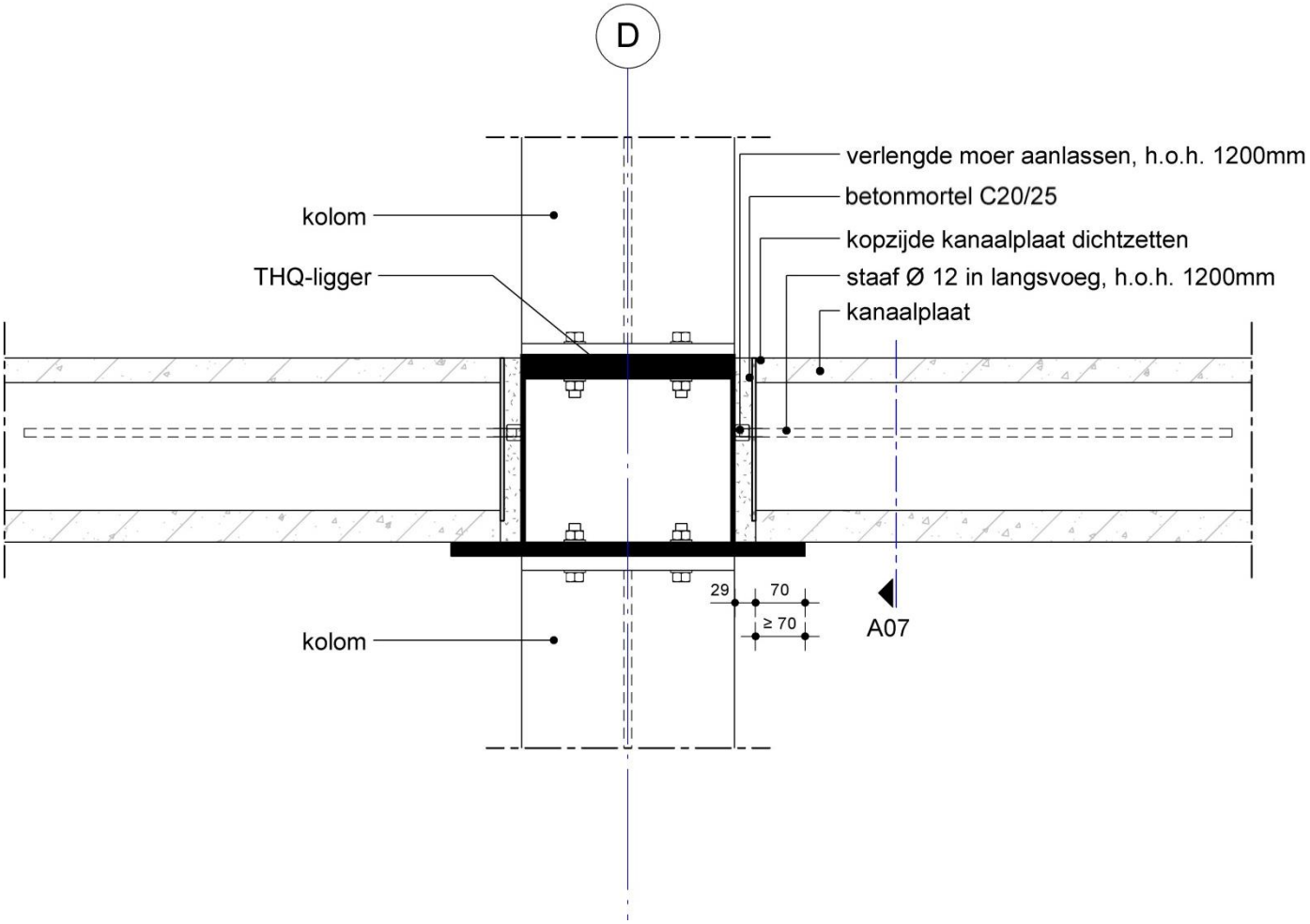
Toelichting:
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de koppelstaven aangebracht in de langsvoegen en de kopzijden van de kanaalplaten dichtgezet met een vlak materiaal in plaats van kanaaldeksels. Op deze manier wordt aanhechting voorkomen en breekt de voeg bij demontage van de kanaalplaat gemakkelijk los.
Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen zodat het gebouw per bouwlaag gedemonteerd kan worden.

Aanzicht oplegging randbalk t.p.v. kolom A05



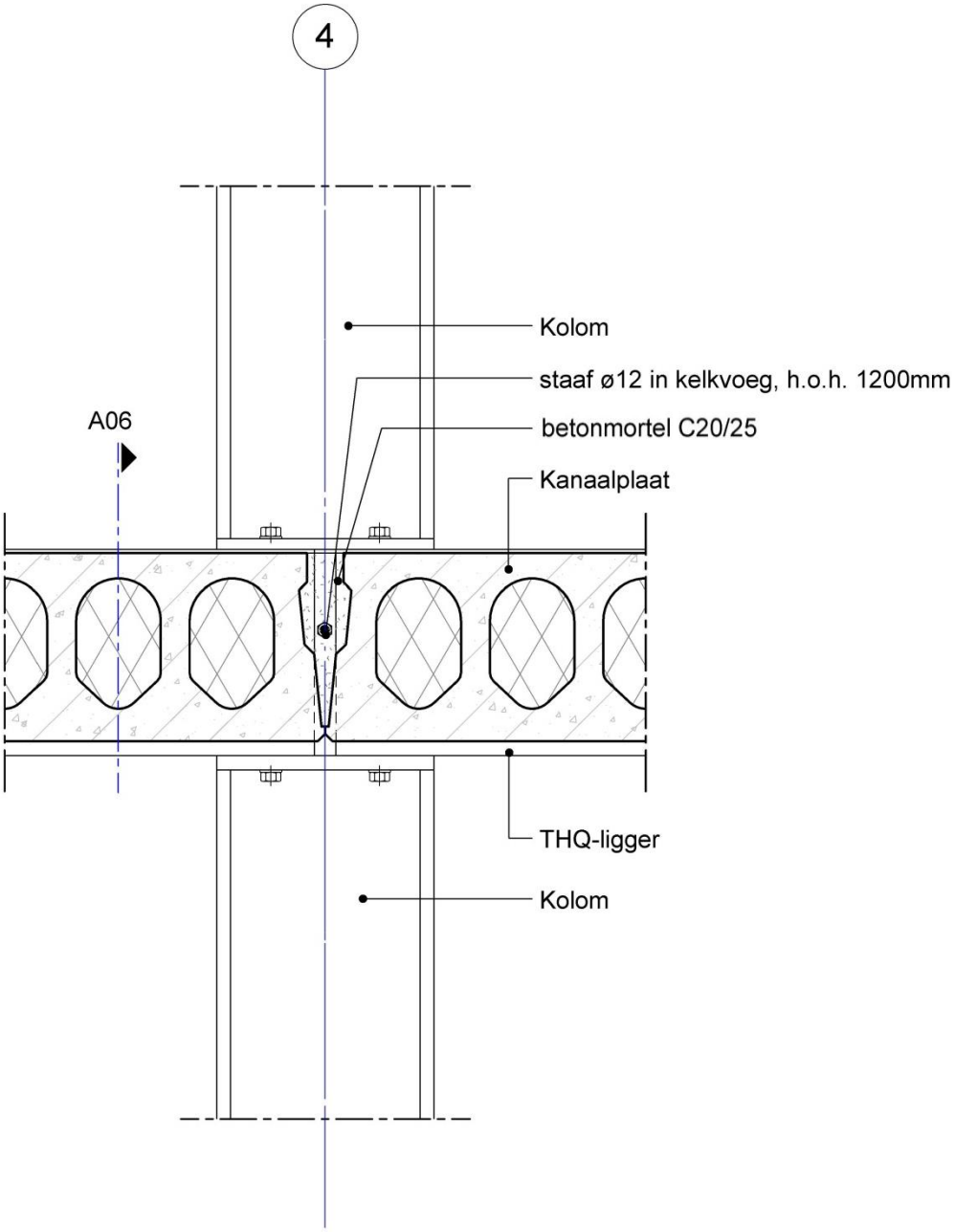
Toelichting:
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de koppelstaven aangebracht in de langsvoegen. Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen zodat het gebouw per bouwlaag gedemonteerd kan worden.

Oplegging middenbalk t.p.v. kolom A06



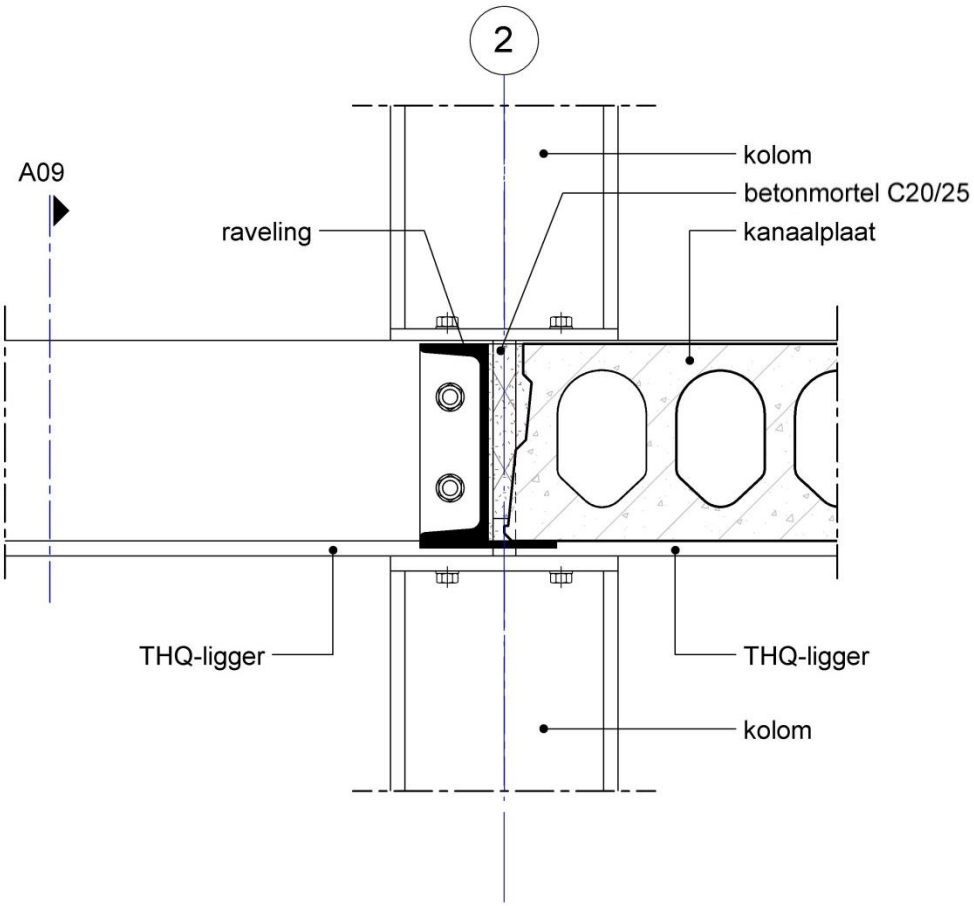
Toelichting:
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de koppelstaven aangebracht in de langsvoegen en de kopzijden van de kanaalplaten dichtgezet met een vlak materiaal in plaats van kanaaldeksels. Op deze manier wordt aanhechting voorkomen en breekt de voeg bij demontage van de kanaalplaat gemakkelijk los.
Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen zodat het gebouw per bouwlaag gedemonteerd kan worden.

Aanzicht oplegging middenbalk t.p.v. kolom A07



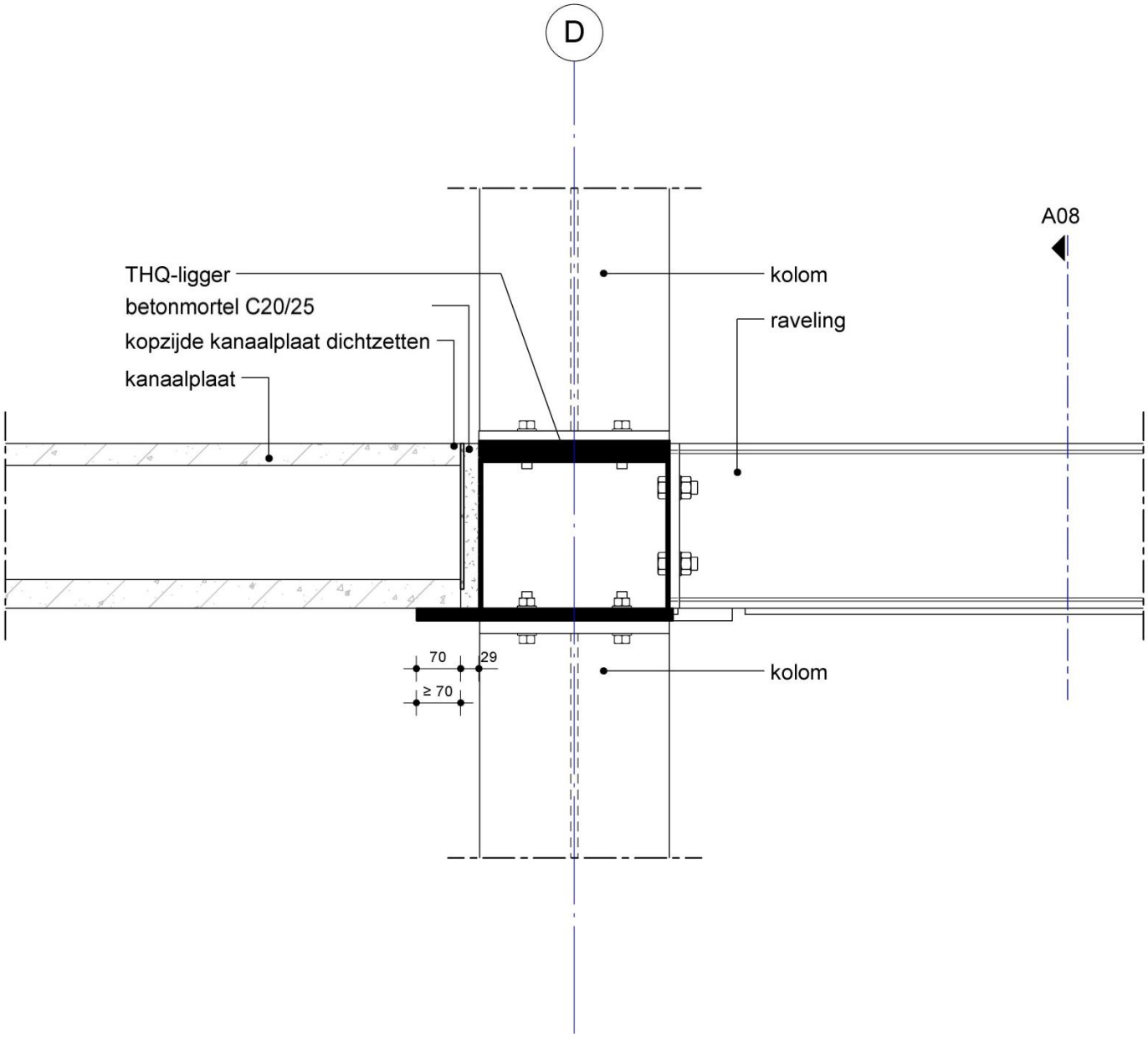
Toelichting:
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de koppelstaven aangebracht in de langsvoegen. Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen zodat het gebouw per bouwlaag gedemonteerd kan worden.

Oplegging t.p.v. raveling A08



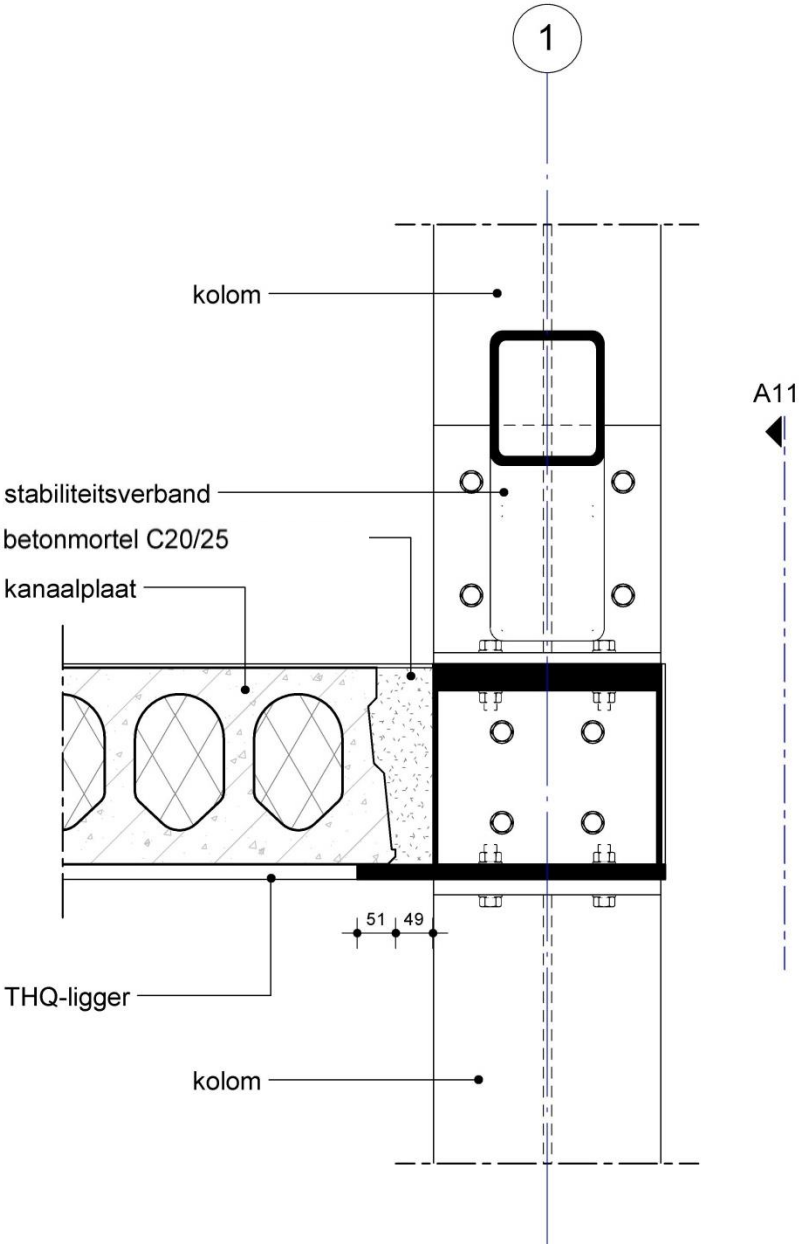
Toelichting:
In dit voorbeeld is een UNP-profiel met aangelaste strip toegepast om de vloer rondom in te sluiten. Geadviseerd wordt om sparingen altijd te ontwerpen op basis van de vaste breedte van de kanaalplaten, hierdoor kan er bij remontage eenvoudig een andere positie worden gekozen voor een sparing. Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen zodat het gebouw per bouwlaag gedemonteerd kan worden.

Aanzicht oplegging t.p.v. raveling A09



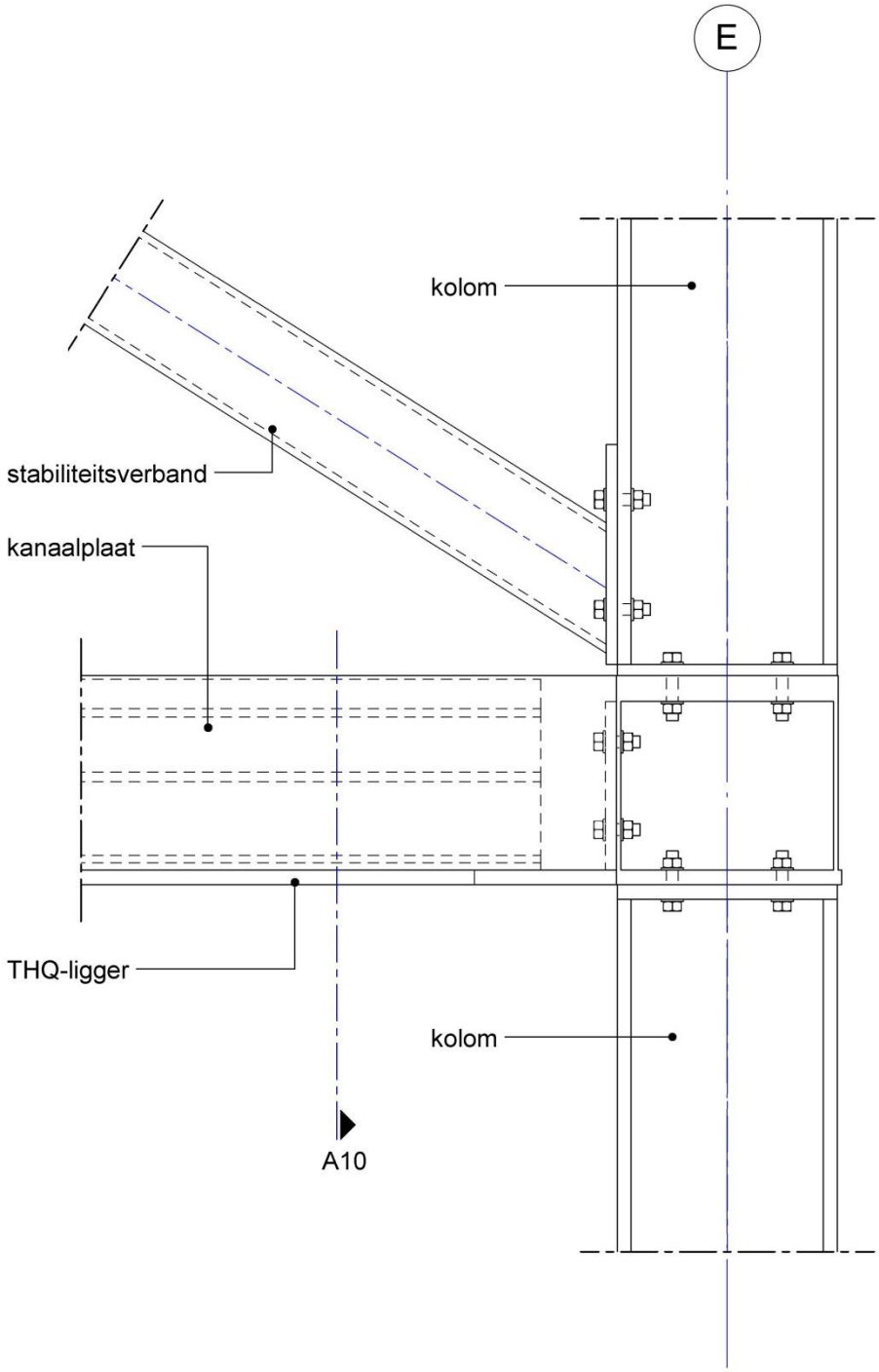
Toelichting:
In dit voorbeeld is een UNP met aangelaste strip toegepast om de vloer rondom in te sluiten. Geadviseerd wordt om sparingen altijd te ontwerpen op basis van de vaste breedte van de kanaalplaten, hierdoor kan er bij remontage eenvoudig een andere positie worden gekozen voor een sparing. Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen zodat het gebouw per bouwlaag gedemonteerd kan worden.

Oplegging t.p.v. stabiliteitsverband A10



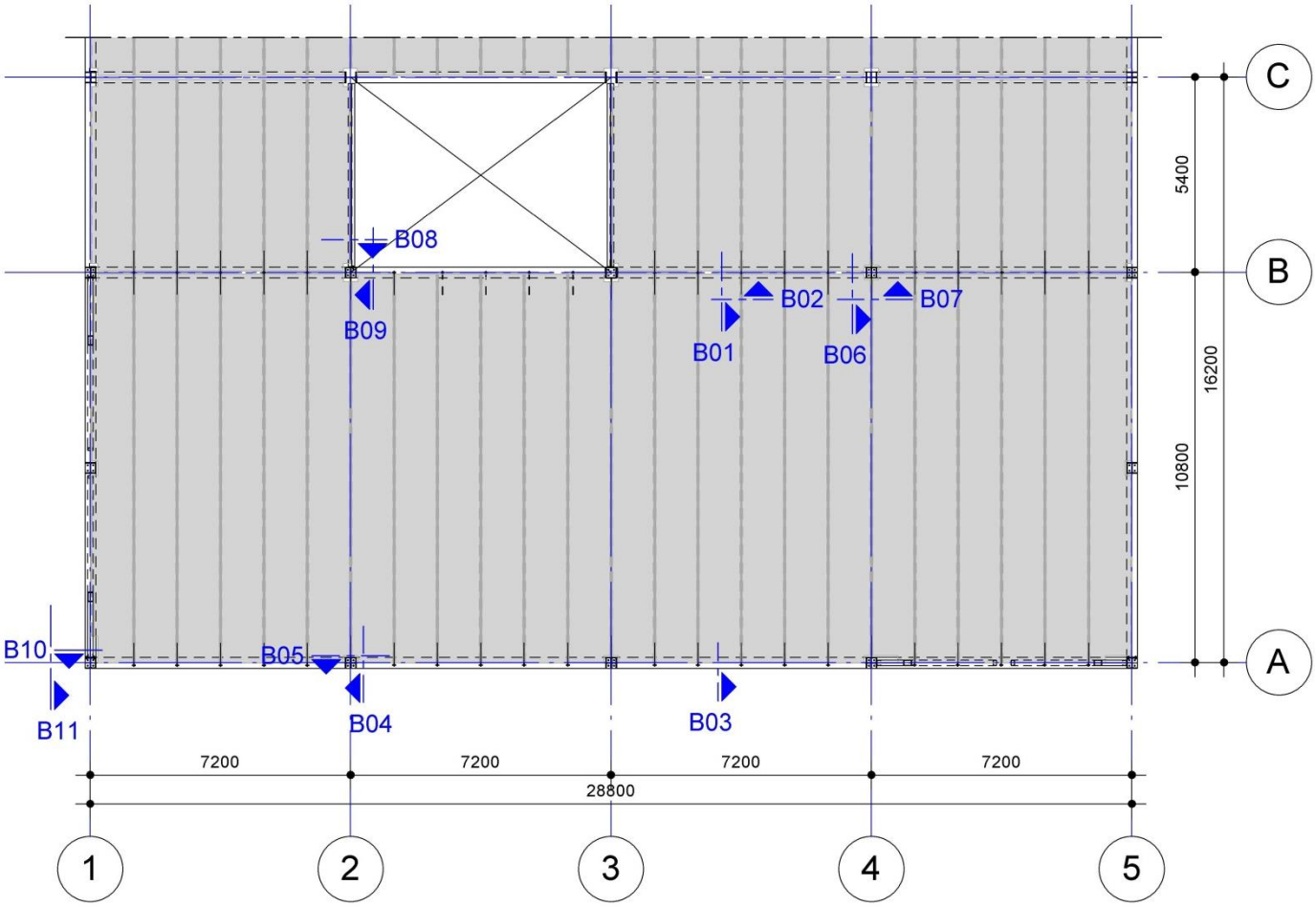
Toelichting:
Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen zodat het gebouw per bouwlaag gedemonteerd kan worden.

Aanzicht t.p.v. windverband A11

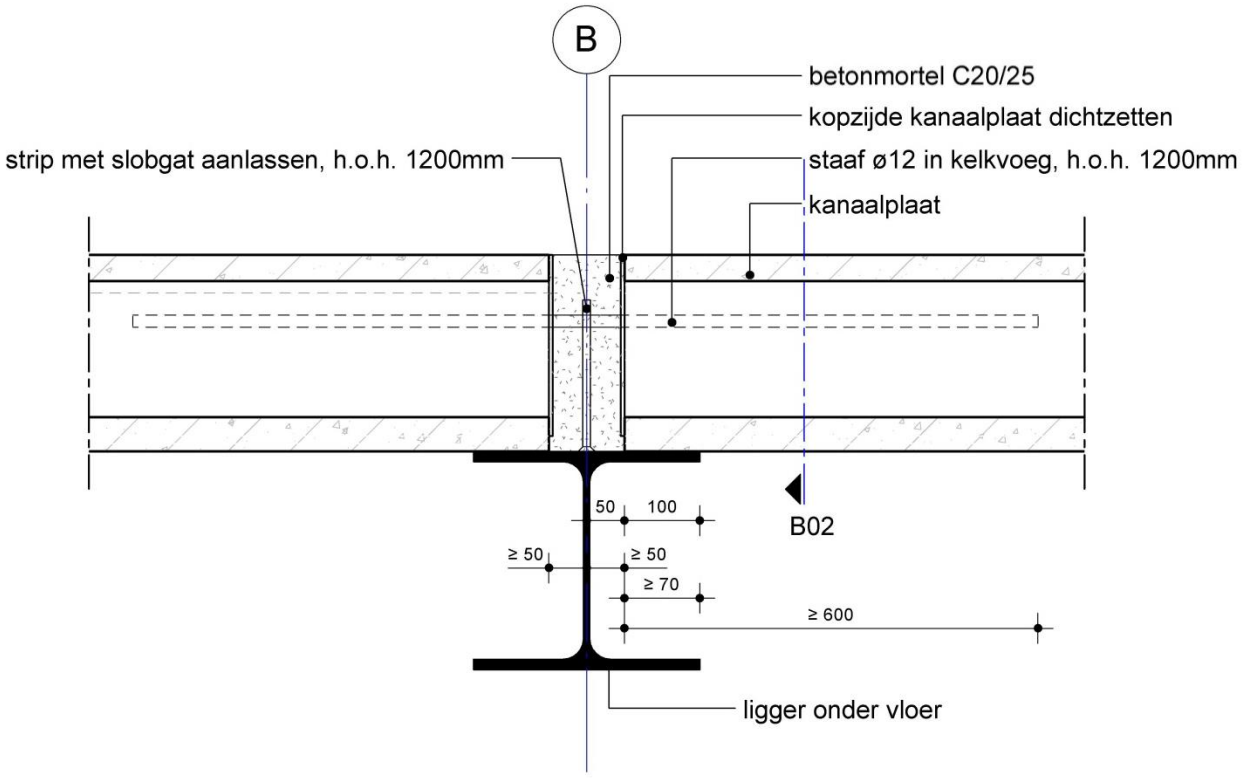


Toelichting:
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de kopzijden van de kanaalplaten dichtgezet met een vlak materiaal in plaats van kanaaldeksels. Op deze manier wordt aanhechting voorkomen en breekt de voeg bij demontage van de kanaalplaat gemakkelijk los. Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen zodat het gebouw per bouwlaag gedemonteerd kan worden.

Details draagstructuur B

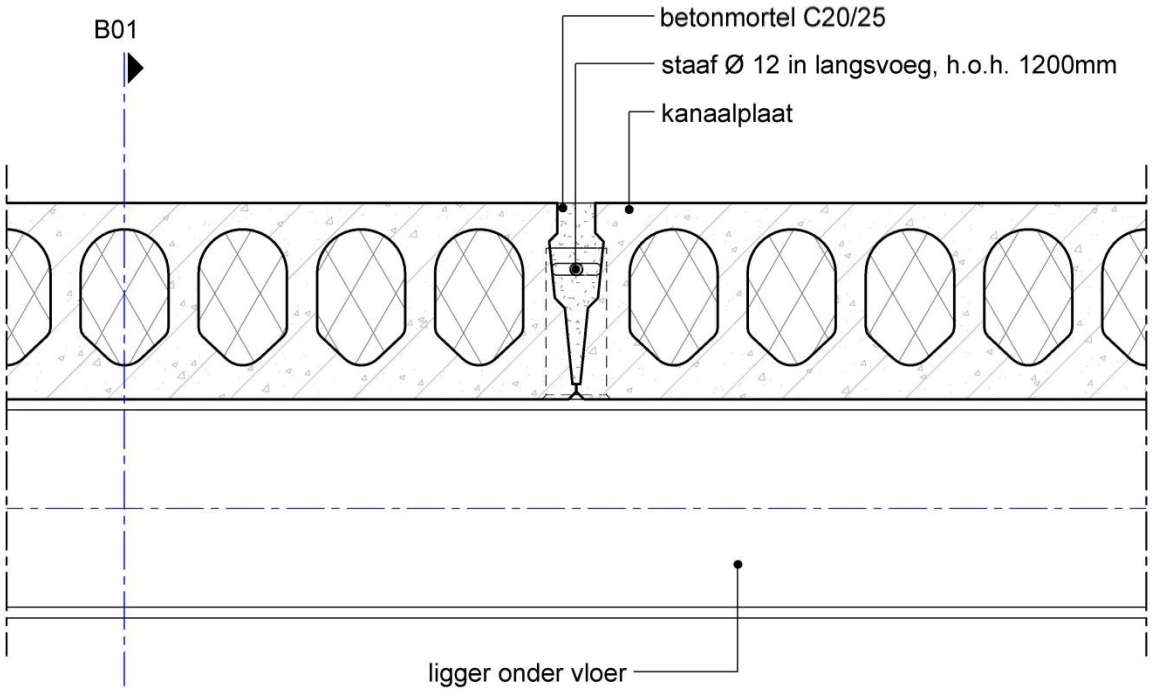


Oplegging middenbalk B01



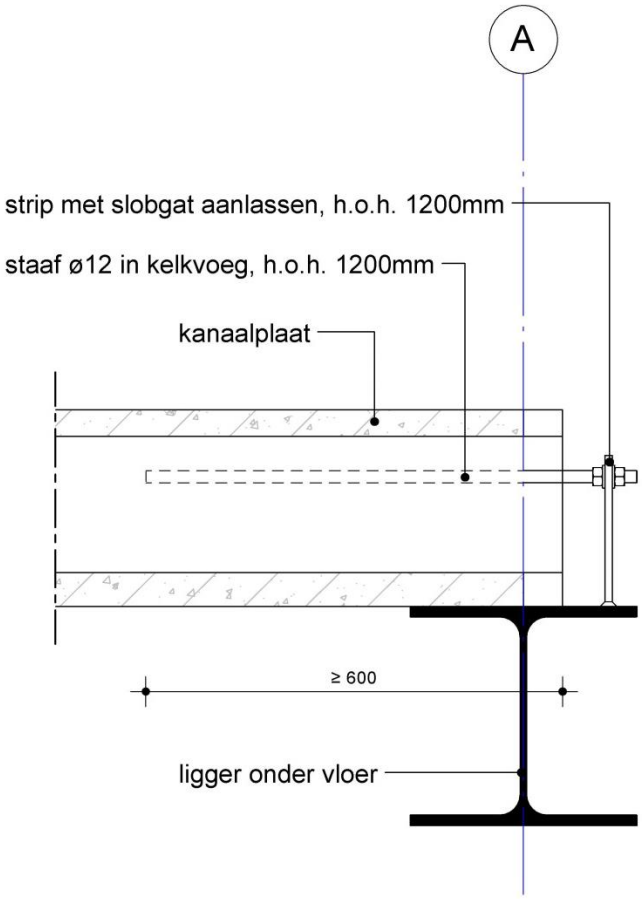
Toelichting:
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de koppelstaven aangebracht in de langsvoegen en de kopzijden van de kanaalplaten dichtgezet met een vlak materiaal in plaats van kanaaldeksels. Op deze manier wordt aanhechting voorkomen en breekt de voeg bij demontage van de kanaalplaat gemakkelijk los.

Aanzicht oplegging middenbalk B02



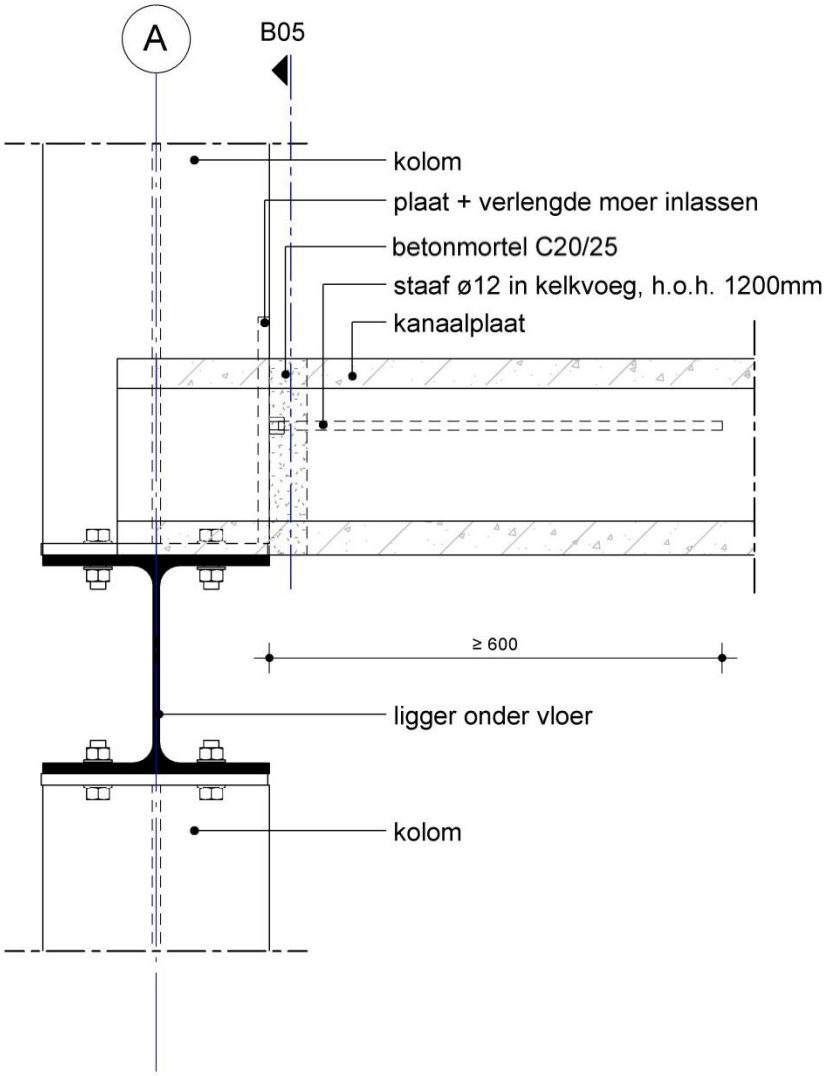
Toelichting:
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de koppelstaven aangebracht in de langsvoegen.

Oplegging randbalk B03



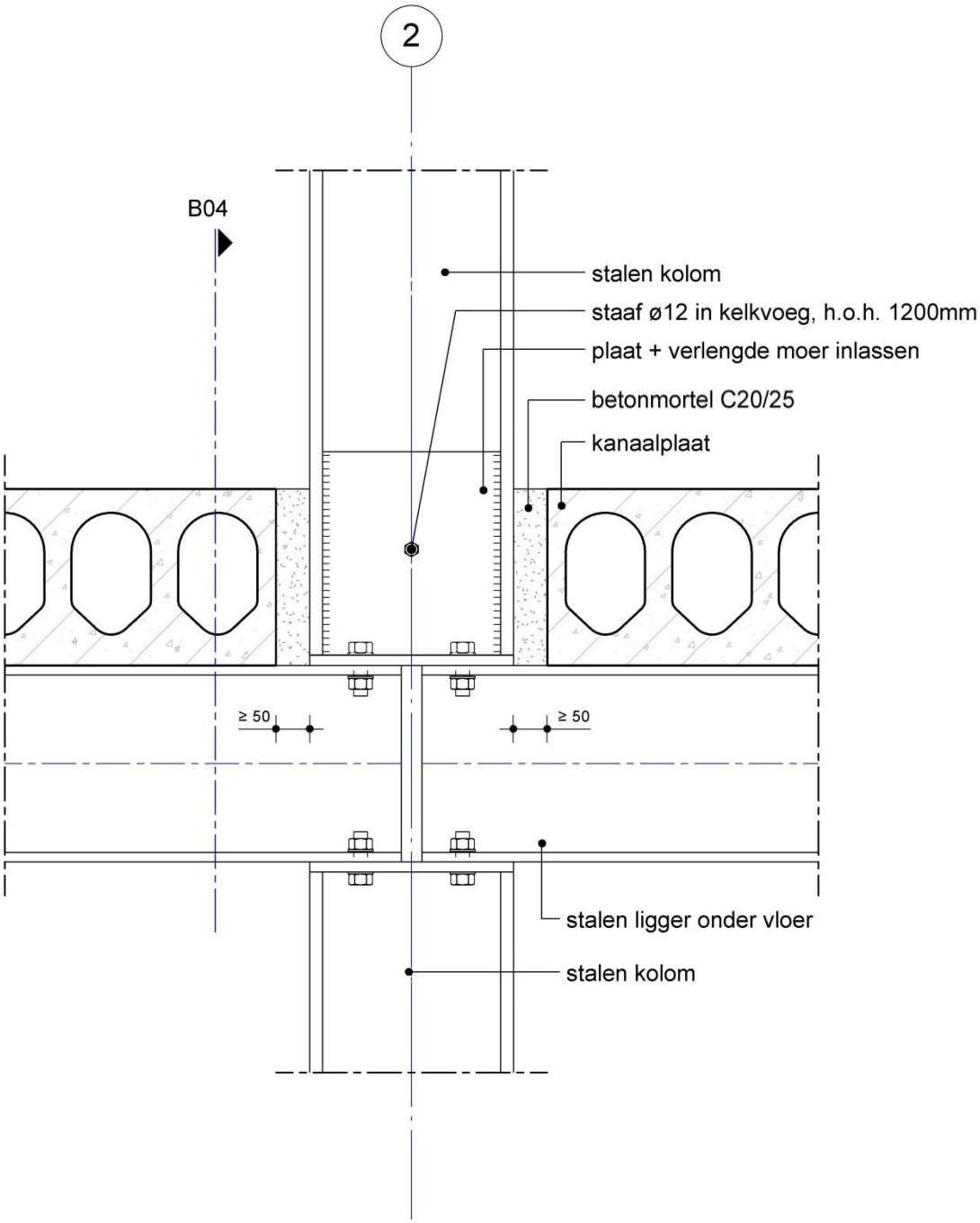
Toelichting:
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de koppelstaven aangebracht in de langsvoegen.

Oplegging randbalk t.p.v. kolom B04



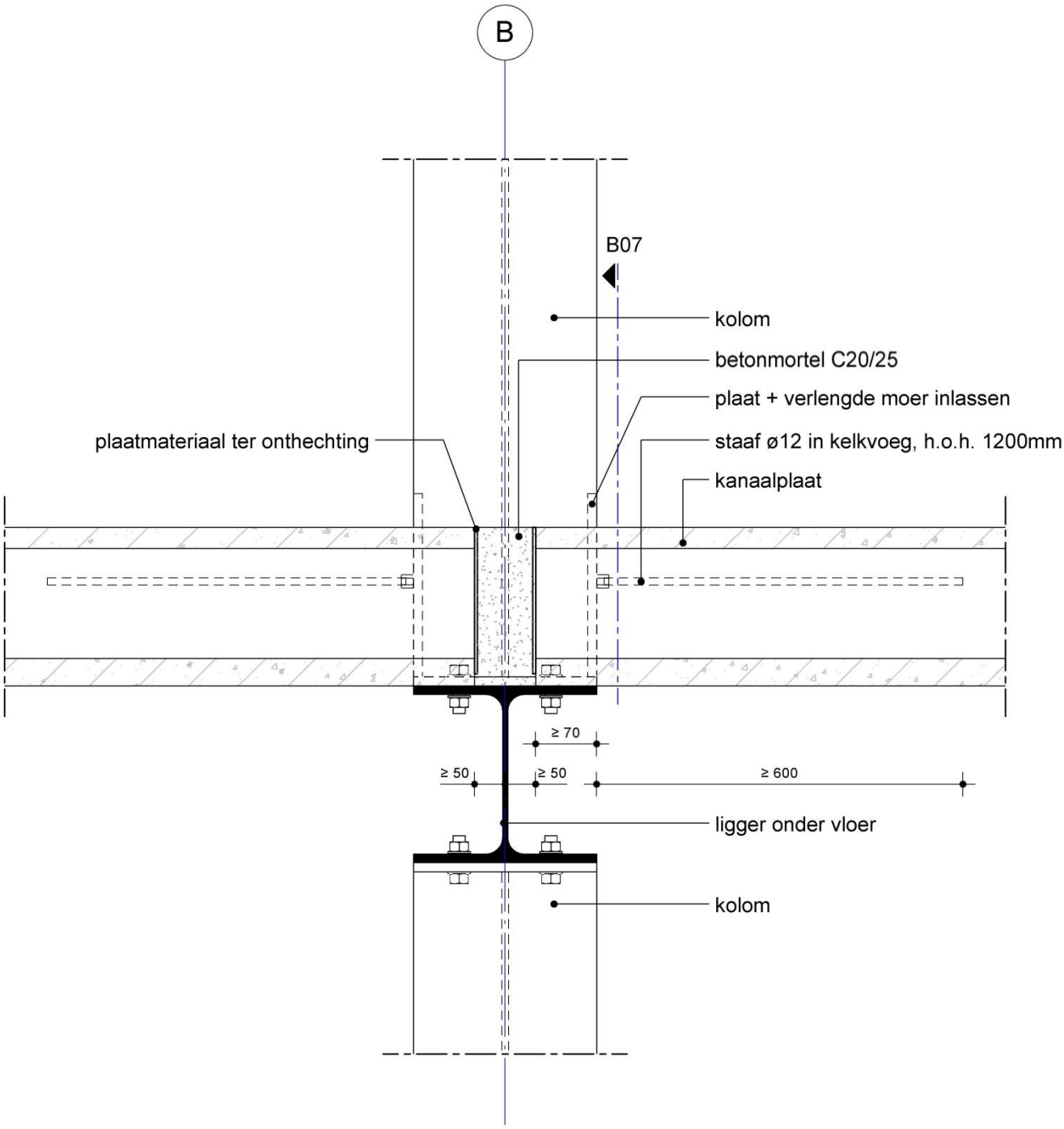
Toelichting:
Ter plaatse van de kolommen worden hoeksparingen aangebracht in de kanaalplaat om het vloerveld op te sluiten. De kolommen worden dichtgezet met een stalen plaat om te voorkomen dat de voegvulling in de kolom loopt en om de krachten uit het vloerveld op te nemen en af te dragen.
Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen. De kolommen kunnen dan gedemonteerd worden waardoor het vloerveld niet meer ingesloten is.

Aanzicht oplegging randbalk t.p.v. kolom B05



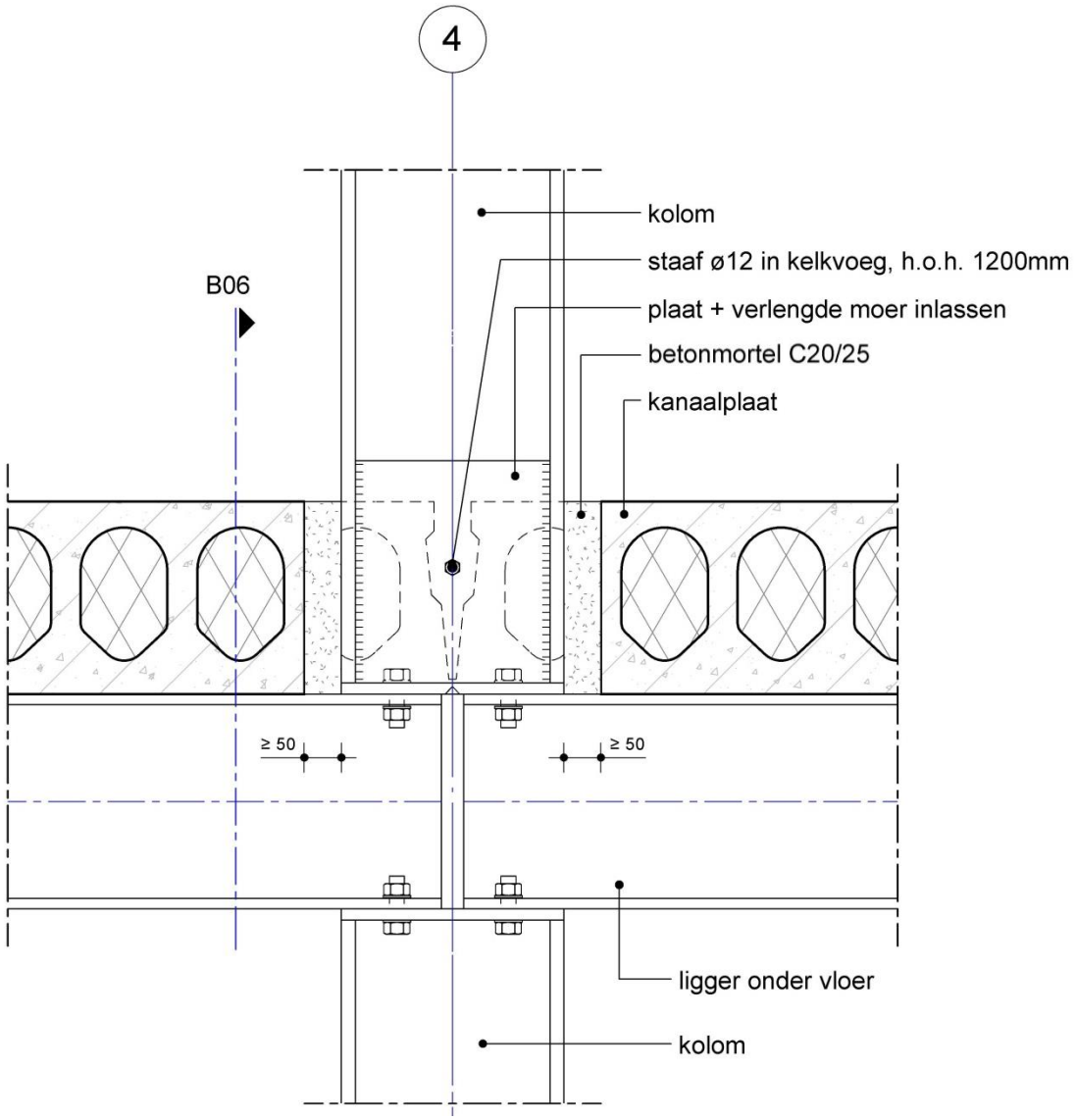
Toelichting:
Ter plaatse van de kolommen worden hoeksparingen aangebracht in de kanaalplaat om het vloerveld op te sluiten. De kolommen worden dichtgezet met een stalen plaat om te voorkomen dat de voegvulling in de kolom loopt en om de krachten uit het vloerveld op te nemen en af te dragen.
Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen. De kolommen kunnen dan gedemonteerd worden waardoor het vloerveld niet meer ingesloten is.

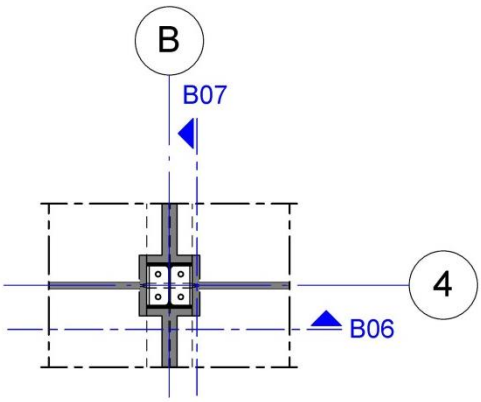
Oplegging middenbalk t.p.v. kolom B06



Toelichting:
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de koppelstaven aangebracht in de langsvoegen en de kopzijden van de kanaalplaten dichtgezet met een vlak materiaal in plaats van kanaaldeksels. Op deze manier wordt aanhechting voorkomen en breekt de voeg bij demontage van de kanaalplaat gemakkelijk los.
Ter plaatse van de kolommen worden hoeksparingen aangebracht in de kanaalplaat om het vloerveld op te sluiten. De kolommen worden dichtgezet met een stalen plaat om te voorkomen dat de voegvulling in de kolom loopt en om de krachten uit het vloerveld op te nemen en af te dragen. Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen. De kolommen kunnen dan gedemonteerd worden waardoor het vloerveld niet meer ingesloten is.

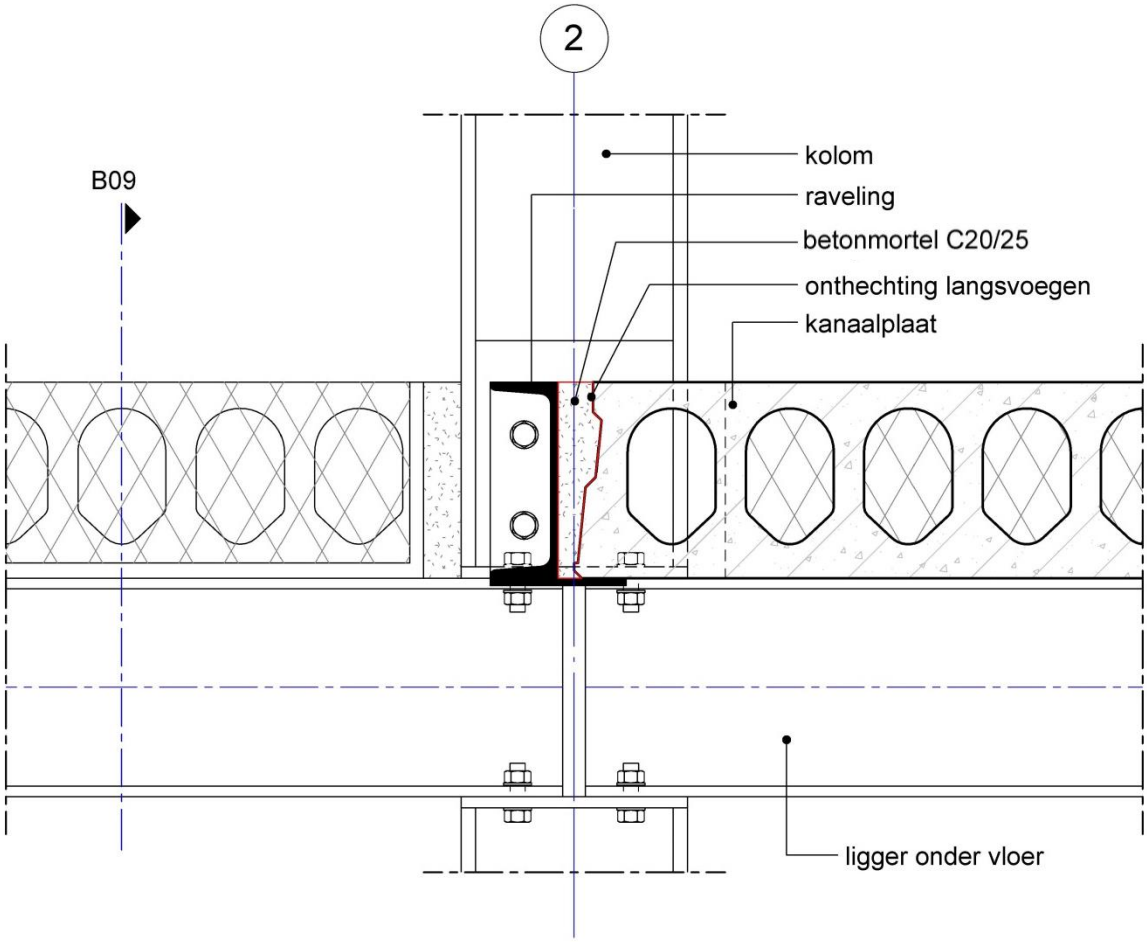
Aanzicht oplegging middenbalk t.p.v. kolom B07





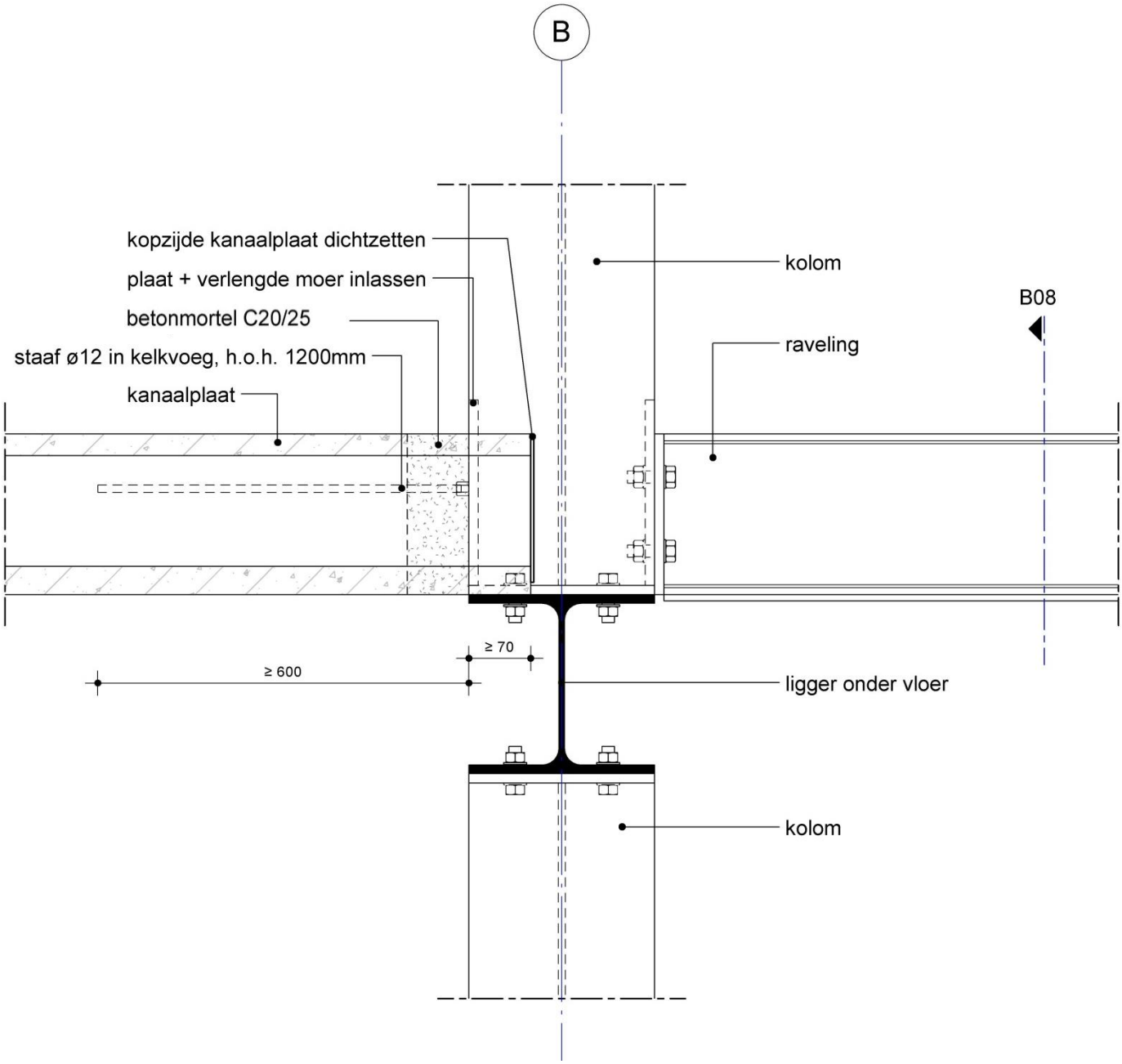
Toelichting:
Ter plaatse van de kolommen worden hoeksparingen aangebracht in de kanaalplaat om het vloerveld op te sluiten. De kolommen worden dichtgezet met een stalen plaat om te voorkomen dat de voegvulling in de kolom loopt en om de krachten uit het vloerveld op te nemen en af te dragen. Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen. De kolommen kunnen dan gedemonteerd worden waardoor het vloerveld niet meer ingesloten is.

Oplegging t.p.v. raveling B08



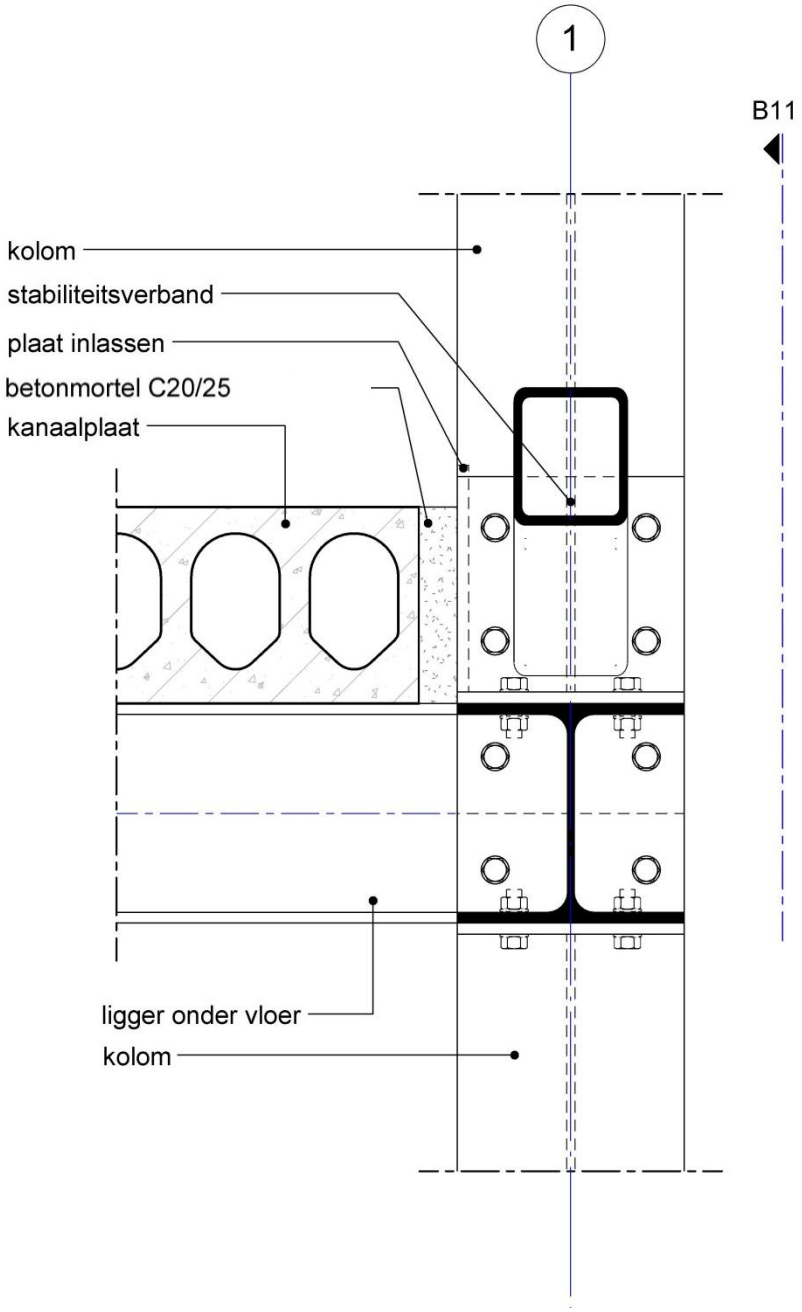
Toelichting:
In dit voorbeeld is een UNP-profiel met aangelaste strip toegepast om de vloer rondom in te sluiten. Geadviseerd wordt om sparingen altijd te ontwerpen op basis van de vaste breedte van de kanaalplaten, hierdoor kan er bij remontage eenvoudig een andere positie worden gekozen voor een sparing. Ter plaatse van de kolommen worden hoeksparingen aangebracht in de kanaalplaat om het vloerveld op te sluiten. De kolommen worden dichtgezet met een stalen plaat om te voorkomen dat de voegvulling in de kolom loopt en om de krachten uit het vloerveld op te nemen en af te dragen. Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen. De kolommen en het UNP-profiel kunnen dan gedemonteerd worden waardoor het vloerveld niet meer ingesloten is.

Aanzicht oplegging t.p.v. raveling B09



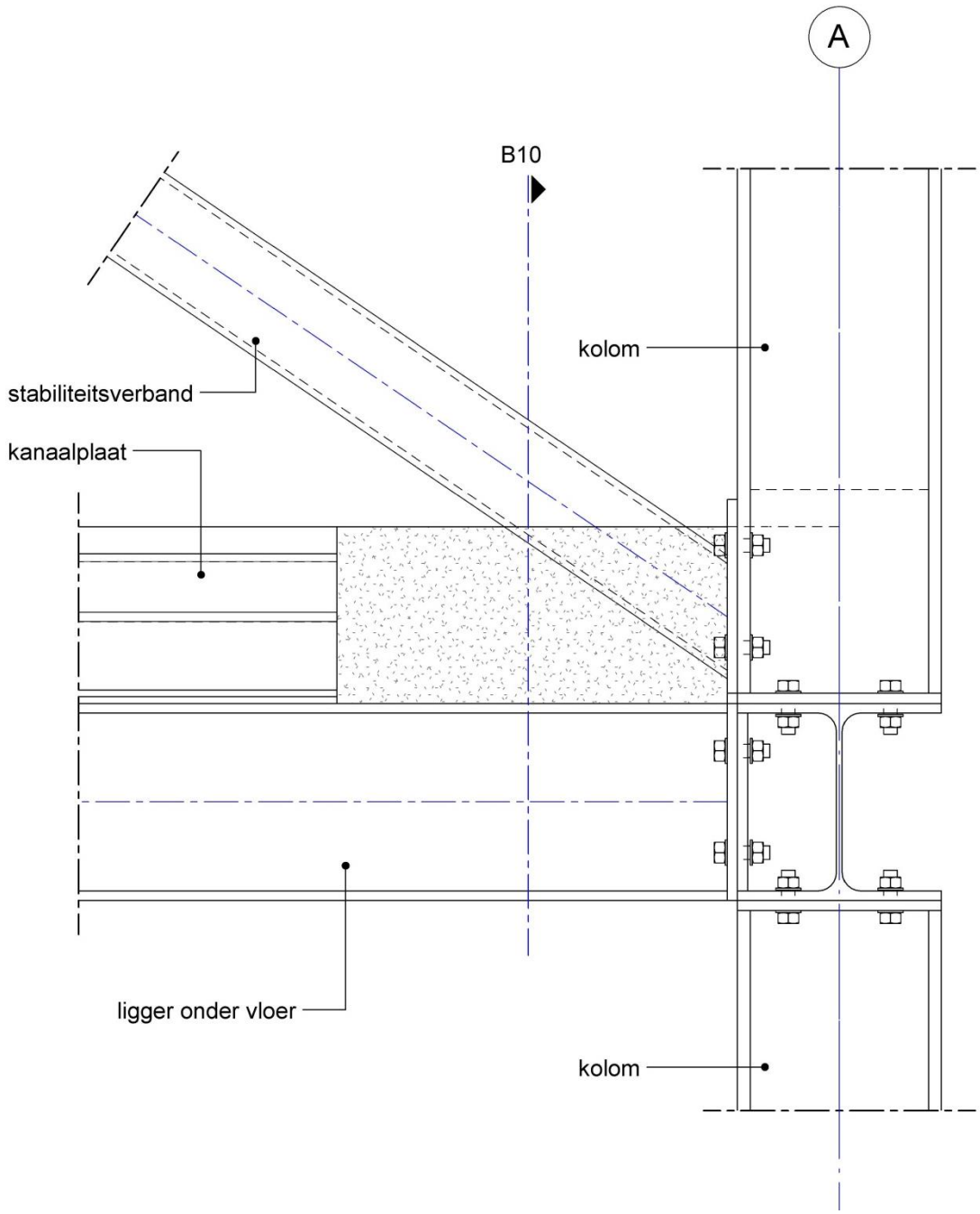
Toelichting:
Om de kanaalplaat te kunnen demonteren worden de koppelstaven aangebracht in de langsvoegen en de kopzijden van de kanaalplaten dichtgezet met een vlak materiaal in plaats van kanaaldeksels. Op deze manier wordt aanhechting voorkomen en breekt de voeg bij demontage van de kanaalplaat gemakkelijk los.
Ter plaatse van de kolommen worden hoeksparingen aangebracht in de kanaalplaat om het vloerveld op te sluiten. De kolommen worden dichtgezet met een stalen plaat om te voorkomen dat de voegvulling in de kolom loopt en om de krachten uit het vloerveld op te nemen en af te dragen. Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen. De kolommen kunnen dan gedemonteerd worden waardoor het vloerveld niet meer ingesloten is.

Oplegging t.p.v. stabiliteitsverband B10



Toelichting:
Ter plaatse van de windverbanden worden hoeksparingen aangebracht in de kanaalplaat om het vloerveld op te sluiten. Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen. De kolommen kunnen dan gedemonteerd worden waardoor het vloerveld niet meer ingesloten is.

Aanzicht t.p.v. stabiliteitsverband B11



Toelichting:
Ter plaatse van de windverbanden worden hoeksparingen aangebracht in de kanaalplaat om het vloerveld op te sluiten. Geadviseerd wordt om de kolommen per verdieping te splitsen. De kolommen kunnen dan gedemonteerd worden waardoor het vloerveld niet meer ingesloten is.

9 CONCLUSIE

Het doel van dit afstudeerproject is het opstellen van aanbevelingen en richtlijnen voor het remontabel ontwerpen met kanaalplaatvloeren, hiervoor is de volgende hoofdvraag opgesteld: *"Hoe dient een remontabele hoofddraagconstructie met een kanaalplaatvloer ontworpen te worden zodat deze platen geschikt zijn voor hergebruik?"*

Om de kanaalplaat te kunnen demonteren en hergebruiken moet de bestaande manier van bouwen herzien worden. Met name het toepassen van een constructieve druklaag beperkt de eenvoud van demontage en hergebruik. Om de constructieve functies van de druklaag over te kunnen nemen moeten er voorzieningen in de vloer getroffen worden. De aansluitingen moeten dusdanig ontworpen worden zodat de kanaalplaat eenvoudig en veilig gedemonteerd en geremonteerd kan worden. Er is een variantenstudie uitgevoerd naar de mogelijke oplossingen van de verbinding tussen kanaalplaten en stalen liggers. Hieruit is gebleken dat een oplossing buiten de plaat het meest geschikt is voor hergebruik. De gekozen oplossing is een natte oplossing waarbij aanhechting met de kopzijde van de kanaalplaat voorkomen wordt door de kanalen af te dichten.

Het vloerveld wordt omsloten door een trekband bestaande uit onderling gekoppelde stalen liggers. De trekband is met het vloerveld verbonden door deze te verankeren middels koppelstaven in de langsvoegen. Om de schijfwerking van het vloerveld zonder druklaag te kunnen realiseren moeten de langsvoegen over voldoende schuifkrachtcapaciteit bezitten. De capaciteit van de langsvoeg kan verhoogd worden door een geprofileerde voeg toe te passen.

De kanaalplaat is het meest geschikt voor hergebruik wanneer deze zo min mogelijk wordt aangetast. Bij het ontwerpen van een gebouwstructuur moet hierbij rekening gehouden worden met de vaste breedte van het element. Vermijd sparingen in de elementen door schachten en trapgaten zoveel mogelijk bijeen te brengen.

Om de demontage veilig te laten verlopen moet er een demontageplan opgesteld worden. De stabiliteit moet tijdens de demontage te allen tijde gewaarborgd blijven.

Om de kanaalplaat constructief te kunnen hergebruiken moet deze voldoen aan technische voorwaarden en aan de dan geldende regelgeving. Advies is om de gegevens van de kanaalplaat te bewaren in een dossier met daarin de eigenschappen van het element.

De conclusie van het afstudeerproject is dat een hoofddraagconstructie met een kanaalplaatvloer doormiddel van kleine aanpassingen en door efficiënt te ontwerpen, eenvoudig remontabel gemaakt kan worden.

10 AANBEVELINGEN

Uit onderzoek is naar voren gekomen dat de constructieve functies van een druklaag kunnen worden overgenomen door de met mortel gevulde langsvoegen, mits deze voorzien zijn van een profilering. Om remontabel bouwen mogelijk te maken wordt dan ook aanbevolen om de kanaalplaten van VBI in de productie te voorzien van een profilering aan de langszijden.

Om ervoor te zorgen dat de langsvoegen gemakkelijk losbreken bij demontage wordt aanbevolen om de kopzijden van de kanaalplaten met een herbruikbaar materiaal dicht te zetten. Hierdoor wordt sterke aanhechting tussen de met mortel gevulde kopvoegen en de kanaalplaat voorkomen.

Een voorwaarde voor constructief hergebruik is dat de identiteit van de kanaalplaat bekend blijft. Advies is dan om de gegevens per gebouw te documenteren en eventuele wijzigingen bij te houden. Om de regie over de kanaalplaat te behouden wordt aanbevolen dat VBI deze gegevens per gebouw onder voorwaarden bewaart voor de klant. Belangrijk hierbij is dat wijzigingen altijd gecommuniceerd worden, zodat deze doorgevoerd zodat de gegevens van de elementen kloppend blijven.

Naar mate een draagstructuur minder 'in de weg' zit, nemen de mogelijkheden tot hergebruik toe. Advies is dan ook een hoofddraagconstructie te ontwerpen met een skeletstructuur. Hierbij is het belangrijk dat bij het ontwerpen van deze structuur gebruik wordt gemaakt van de vaste breedte van de kanaalplaat. Er wordt geadviseerd om de liggers te integreren in de vloerhoogte omdat hierbij geen sparingen ter plaatse van de kolommen nodig zijn en de nuttige hoogte van een gebouw beter wordt benut. Om torsie van de geïntegreerde liggers te voorkomen wordt aanbevolen een THQ-profiel toe te passen.

Advies is om de studie voor te leggen aan externe partijen. Tijdens het afstudeeronderzoek zijn er gesprekken gevoerd met de bedrijven BAM, ABT en IMD Raadgevende Ingenieurs om de resultaten van het onderzoek en de mogelijkheden voor toepassing van het concept te bespreken.

BRONNEN

Bouwen met staal. (z.d.). *Brandwerendheid kanaalplaatvloeren* [online afbeelding]. Gedownload op 10 mei, van http://www.brandveiligmetstaal.nl/pag/342/5b8_kanaalplaatvloer_en_de_samenhang.html

COFA NEDERLAND. (2015, 11 februari). *Materiaalpaspoort*. Geraadpleegd op 6 maart, van http://www.cofanederland.nl/uncategorized/materiaalpaspoort/

CUR. (1988, augustus). *Rapport 136, Voegen in geprefabriceerde vloeren.* Delft

CUR. (1990, april). *Rapport 135, Demontabel bouwen.* Delft

Gebouwinzicht. (2016, 2 juni). *Wat is circulair bouwen nu precies?* Geraadpleegd op 31 maart 2017, van http://gebouwinzicht.nl/wat-is-circulair-bouwen-nu-precies/

Glias, A. (2013, december). *Designing with reused structural concrete elements* (Master Thesis). Building engineering, Delft University of Technology.

Leenstra. (z.d.). *Bouwklem* [online afbeelding]. Gedownload op 15 mei 2017, van http://www.leenstra.nl/klemmen-en-bouwveiligheid/klemmen/bouwklem.aspx

MVONederland. (2016, 13 april). *Wat is de circulaire economie?* Geraadpleegd op 16 februari 2017, van http://mvonederland.nl/circulaire-economie-dossier

Naber, N. (2012, augustus). *Reuse of hollow core slabs from office buildings to residential buildings* (Master Thesis). Structural Design, Delft University of Technology.

ORAK Factory CO. (2015, 21 oktober). *Hollow-core floor slabs installation* [online afbeelding]. Gedownload op 10 mei 2017, van http://orakprecast.com/4900.html

RAU (2017, 23 februari). *Introduction Madaster*. Geraadpleegd op 6 mei 2017, van http://www.rau.eu/2017/02/introduction-madaster/

Rijksoverheid (2009, 31 augustus). *Verklarende begrippenlijst duurzaam bouwen en verbouwen*. Gedownload op 9 mei 2017, van https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/brochures/2009/08/31/verklarende-begrippenlijst/duurzaam-begrippenlijst.pdf

SBR. (2012, februari). *Ontwerpen met het oog op toekomstige herbestemming.* Rotterdam.

Straver, F. (2016, 11 oktober) D100 #2 Thomas Rau: beschermheer van materiaal. *Trouw.* Geraadpleegd op 15 mei 2017, van https://www.trouw.nl/groen/d100-2-thomas-rau-beschermheer-van-materiaal~ae53c8f0/

VBI. (z.d.a). *Productdatablad Kanaalplaatvloer 200*. Gedownload op 8 mei 2017, van https://www.vbi.nl/sites/default/files/PDB07-007-Kanaalplaatvloer_200.pdf

Velthorst C.B.J. (2007, 12 september) *Stufib-rapport "Ontwerpaspecten met betrekking tot scheurvorming in de constructieve druklaag op vloeren van voorgespannen kanaalplaten"* (afstudeeronderzoek). Civiele techniek, Technische Universiteit Delft.

BIJLAGEN

Bijlage 01: Procesmap
Bijlage 02: Plan van Aanpak
Bijlage 03: Literatuurstudie
Bijlage 04: Programma van Eisen
Bijlage 05: Varianten
Bijlage 06: Multicriteria-analyse
Bijlage 07: Berekeningen
Bijlage 08: Praktijkvoorbeeld bedrijfspand Ootmarsum

Hogeschool van Arnhem en Nijmegen

De circulaire economie heeft als doel om de vernietiging van natuurlijk kapitaal tegen te gaan. Door tijdens de ontwerpfase van een gebouw rekening te houden met meerdere bestemmingen wordt een gesloten kringloop beoogd.

"Remontabel ontwerpen met kanaalplaten" beschrijft de praktische constructieve herbruikbaarheid van kanaalplaten. Dit rapport beschrijft enerzijds onze zoektocht naar remontabel ontwerpen, anderzijds vormt het de afsluiting van onze studie aan de HAN.

Het bevat details van remontabele draagconstructies met kanaalplaten; het bevat aanbevelingen voor het ontwerpen van een remontabele gebouwstructuur, met remontabele vloervelden, met remontabele kanaalplaten. En tot slot bevat het voorwaarden voor het veilig de- en remonteren van kanaalplaten.

Ruben Buunk & Esmee Heebing