

**Disclaimer**

Deze fiche is bedoeld voor ontwerpers, bestekschrijvers en andere leden van projectteams die dit bouw materiaal of -product willen hergebruiken. Ze maakt deel uit van een reeks fiches met als doel de momenteel beschikbare informatie samen te brengen om het hergebruik van bouwmaterialen en -producten te vergemakkelijken.

Deze fiche is opgesteld door Rotor vzw/asbl in het kader van het Interreg FCRBE-project - Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements, gesteund door het volledige projectpartnerschap. Informatiebronnen zijn onder meer de ervaring van hergebruikhandelaars en de betrokken projectpartners, lessen uit voorbeeldprojecten, beschikbare technische documentatie, etc.

De reeks fiches is opgesteld tussen 2019 en 2021. Aangezien de hergebruiksector volop evolueert is het mogelijk dat sommige gegevens, vooral met betrekking tot prijzen en beschikbaarheid, mettertijd veranderen. Wanneer in de tekst wordt verwezen naar Europese normen is het aan het projectteam om, indien nodig, te verwijzen naar hun nationale implementaties en lokale bijzonderheden.

Het is belangrijk op te merken dat de hier gepresenteerde informatie niet exhaustief is of de deskundigheid van professionals beoogt te vervangen. Specifieke vragen zijn altijd projectgebonden en moeten als dusdanig worden behandeld.

De volledige verzameling fiches (inclusief de inleidende fiche) is vrij verkrijgbaar op verschillende referentiewebsites (o.a. opalis.eu, nweurope.eu/fcrbe, futureuse.co.uk).

Een niet-exhaustieve lijst van handelaars in gerecupereerde bouwmaterialen is beschikbaar op opalis.eu en salvoweb.com.

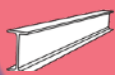
Interreg FCRBE-partnerschap: Bellastock (FR), Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf / WTCB (BE), Leefmilieu Brussel (BE), het Centre Scientifique et Technique du Bâtiment / CSTB (FR), Confederatie Bouw (BE), Rotor (BE), Salvo (UK) en University of Brighton (UK)

De informatie in dit document is niet noodzakelijkerwijs een weergave van het standpunt van alle partners van het FCRBE-project, noch van de financierende autoriteiten.

Tenzij uitdrukkelijk anders vermeld is de inhoud van deze fiches gecrediteerd onder het Creative Commons Attribution NonCommercial - Share Alike formaat (CCBY-NC-SA).



Tenzij uitdrukkelijk anders vermeld zijn de in dit document gebruikte afbeeldingen eigendom van © Rotor vzw/asbl of © Opalis. Voor alle andere afbeeldingen werd er systematisch om toestemming tot publicatie gevraagd aan hun auteurs of rechtmatige eigenaars. Wanneer dit verzoek niet werd beantwoord namen we aan dat er geen bezwaren waren tegen het voorgenomen gebruik van de afbeelding. Indien u van mening bent dat deze interpretatie onredelijk is, gelieve het ons dan te laten weten.



Beschrijving van het materiaal

Crystal Palace, een gigantische serre van 92.000 m² van ijzer en glas, werd gebouwd voor de Londense wereldtentoonstelling van 1841 en is een van de eerste toepassingen van de mogelijkheden van ijzer voor de bouw van grote gebouwen. Toevallig is het ook een treffend voorbeeld van de hergebruikmogelijkheden inherent aan deze manier van bouwen. Oorspronkelijk stond het gebouw in Hyde Park, maar een contractuele bepaling eiste dat het na afloop van de tentoonstelling werd afgebroken. De publieke opinie keerde zich echter tegen dit trieste einde. Na talrijke voorstellen, was het uiteindelijk een zekere Francis Fuller die het kristallen paleis kocht. Hij liet het zorgvuldig demonteren en in zijn geheel heropbouwen in Sydenham (waar het stond tot het in 1936 door brand werd verwoest). Sleutelfactoren voor het slagen van een dergelijke operatie waren het gebruik van sterke elementen met eerder bescheiden afmetingen (de grootste waren holle gietijzeren balken van 8 m lang die minder dan een ton wogen) en de eenvoud van de verbindingen.

Hoewel gietijzer intussen is vervangen door staal, zorgen dezelfde principes van modulariteit, hanteerbaarheid, sterkte en de omkeerbaarheid van verbindingen ervoor dat structurele stalen elementen zeer geschikt zijn voor hergebruik. Deze fiche gaat behandelt specifiek stalen liggers, die onderdeel zijn van de structurele constructie van een gebouw en die als individuele elementen worden hergebruikt. Ze bespreekt dus niet rechtstreeks het hergebruik van de volgende elementen:

- liggers van gietijzer, aluminium, roestvrij staal of andere metaallegeringen;
- andere metalen bouwelementen (bv. holle profielen en buizen, gelaste stalen buizen, hoekprofielen, raatliggers, damwandprofielplaten, etc.)
- gedeeltelijke of volledige structuren op basis van nog verbonden stalen liggers;
- verbindingselementen van de liggers (voeten eindplaten, kogelgewrichten, etc.)

Niettemin kunnen de in dit document beschreven principes ook als leidraad dienen voor het hergebruik van sommige van deze elementen.

Over het algemeen worden stalen liggers gebruikt als afzonderlijke dragende, verticale (bv. kolommen) of horizontale (bv. balken, lateien, vloerbalken, etc.) elementen, of als verbonden elementen in een staalconstructie (bv. skelet, dakgebinte, etc.). Hun toepassing in een constructie wordt doorgaans gevalideerd door een studie bureau voor stabiliteit. Bij staalconstructies worden de elementen dikwijls voorbereid en geleverd door een gespecialiseerde aannemer. De liggers kunnen onderscheiden worden aan de hand van verschillende criteria:

→ **Samenstelling.** Tegenwoordig worden liggers meestal gemaakt van ongelegeerd constructiestaal, dat hoofdzakelijk uit ijzer bestaat, met een koolstofgehalte van minder dan 2% en een beperkt gehalte aan bepaalde andere elementen bevat (bv. mangaan, fosfor, zwavel, silicium, etc.). De samenstelling van het staal bepaalt in grote mate de fysische en chemische eigenschappen van de liggers. Stalen liggers mogen niet dus worden verward met elementen uit gietijzer (ouder en minder sterk door een hoger koolstofgehalte), aluminium (lichter, gewonnen uit bauxiet, hebben andere materiaaleigenschappen), roestvrij staal, ook gekend als 'inox' (een andere staalsoort die wordt gekenmerkt door een hoog chroomgehalte) of andere metaallegeringen.

→ **Productiemethode.** Stalen liggers zijn afgewerkte producten (of halffabricaten als ze nog bewerkt moeten worden) uit de metaalnijverheid. Ze worden traditioneel ingedeeld in lange producten en warmgewalste producten.

→ **Leeftijd van de elementen.** Het gebruik van staal in de bouw is sinds het einde van de 19e eeuw wijdverbreid. Over het algemeen wordt aangenomen dat staal geproduceerd van 1970 voldoet aan de moderne productspecificaties en de rekenmethodes op basis van de uiterste grenstoestand (UGT) en de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT).

→ **Staalsoorten en -kwaliteiten** (steel grade). Een numeriek classificatiesysteem onderscheidt de verschillende staalsoorten die voor liggers worden gebruikt, op basis van hun mechanische eigenschappen. Staalsoorten voor constructie worden aangeduid met:

- de letter S ('structural')
- de minimale vloeigrens in N/mm² (bij een dikte van 16 mm)
- een code die verwijst naar hun taatheid (volgens de opgegeven waarde voor de kerfslagsterkte: JR, J0, J2, K2).

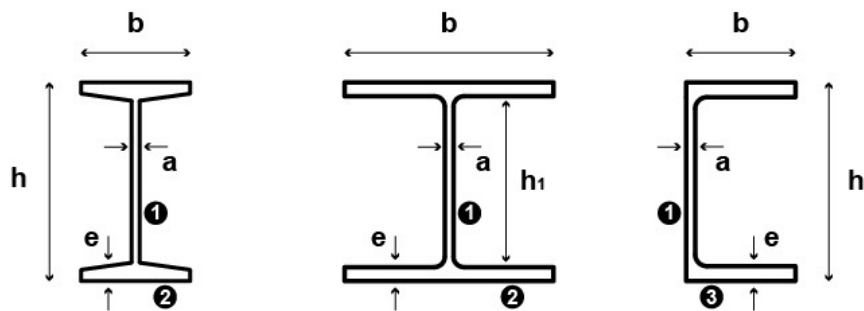
De meest gebruikte staalsoorten voor de productie van liggers zijn S235JR / S275JR / S355J2, waarbij S235JR bijvoorbeeld staat voor 'constructiestaal met een vloeigrens van 235 N/mm² en een gegarandeerde minimale kerfslagwaarde van 27 Joule bij 20°C'. Er zijn ook staalsoorten met een hogere vloeigrens en met een verbeterde weerstand tegen weersinvloeden. Er bestaan vergelijkingstabellen voor staalsoorten die volgens oude normen zijn gecodeerd.

De oorspronkelijke technische documentatie van een gerecupereerde ligger bevat informatie over de gebruikte staalsoort. Als deze niet beschikbaar is, kan een fysisch-chemische analyse worden uitgevoerd bij een erkend laboratorium.

→ **Formaten en profielen.** Liggers van constructiestaal zijn verkrijgbaar in tal van gestandaardiseerde vormen en maten. De gangbare modellen zijn IPN-, IPE-, HEA-, HEB-, HEM-, UPE- en UPN-profielen (waarbij de eerste letter verwijst naar de vorm van de doorsnede, zie *figuur 1 tot 3*). Per model zijn de mogelijke afmetingen gestandaardiseerd en de daarbijbehorende massa's en eigenschappen vastgelegd in de norm EN 10365. Per profiel verschillen de mechanische eigenschappen.

CE-markering

De CE-markering is sinds 2014 verplicht voor nieuw constructiestaal en wordt besproken in de norm EN 1090-1. De norm EN 1090-2 bepaalt dat elementen die niet onder de vermelde normen vallen (zoals hergebruikstaal), mogen worden gebruikt als hun relevante eigenschappen worden gespecificeerd en opgegeven. In het geval van hergebruikliggers kan men zich relatief eenvoudig baseren op de specificaties van de Europese normen voor nieuwe producten om hun gebruiksgeschiktheid aan te tonen. Dit kan gebeuren door een visuele beoordeling van de staat van de elementen, en door beroep te doen op tabellen met de prestaties van vergelijkbare nieuwe elementen, tests in laboratoria en een ontwerpstrategie van overdimensionering van de structuur.



Figuur 1. IPN-profiel (schuin aflopende flenzen met variabele dikte)

Figuur 2. HEA-profiel (parallele flenzen)

Figuur 3. UPE-profiel

Figuur 1 tot 3 : Gebruikelijke profielen van stalen balken

1. 'lijf'
2. 'flens'
3. 'flens'

- a. Dikte van het lijf
b. Breedte van de flens
e. Dikte van de flens
h. Hoogte van het lijf (inclusief flenzen)
h1. Hoogte van het lijf (exclusief flenzen)

→ **Oppervlakteafwerking.** Afhankelijk van het beoogde gebruik kunnen de balken verschillende behandelingen hebben ondergaan:

- **Onbehandeld:** deze liggers zijn herkenbaar aan hun donkere kleur en roestige wals-huid. Onbehandelde liggers worden vooral gebruikt voor niet zichtbare toepassingen.
- **Behandeld met een roestwerende primer ('menie'):** deze liggers zijn herkenbaar aan hun roodbruine oppervlak en worden vaak gebruikt voor niet zichtbare binnentoepassingen of later voorzien van een afwerklaag (verf).
- **Thermisch verzinkt:** de liggers worden ondergedompeld in een bad met zink en/of ijzer/zink-legeringen. Hierdoor ontstaat een dikke, roestwerende, matte laag, geschikt voor meer veeleisende buitentoepassingen.
- **Gemetalliseerd:** hierbij wordt een metaal of legering of het oppervlak van de liggers gespoten.
- **Voorzien van een brandwerende bescherming:** dit kan in de vorm van een opzwellende verf, flocking, etc. (let op: sommige beschermingslagen kunnen **asbest** bevatten, zie § 'Gevaarlijke stoffen en voorzorgsmaatregelen').
- **Andere afwerkingen, zoals poederlakken, aanbrengen van een organische deklaag, etc.** Deze procedés zorgen voor een extra laag (lichte) bescherming en voor het kleuren van de elementen. Dit wordt meestal gedaan voor zichtbare binnentoepassingen.

Afhankelijk van het beoogde gebruik kan het nodig zijn om de oorspronkelijke afwerking te verwijderen door middel van zandstralen, gritstralen of chemisch afbijten. Voor deze behandelingen gelden er specifieke normatieve bepalingen.

→ **Bevestigingen.** Er zijn verschillende bevestigingswijzen mogelijk:

- mechanisch verbinden, door klinknagels of bouten, met behulp van hulpstukken en verbindingselementen (stiften, bouten, klinknagels, eindplaten, kogelgewrichten, etc.);
- lassen;
- vastmetselen in het metselwerk.

Afhankelijk van de middelen die werden gebruikt bij de demontage van stalen liggers, komt het vaak voor dat er nog hulpstukken vastzitten aan de liggers (vb. versterkingen, verbindingselementen) of dat er nog sporen van de vorige bevestigingswijze zichtbaar zijn (bv. mortelresten, lasnaden).



Ruwe, onbehandelde liggers



Gerecupereerde IPE-liggers, met roestwerende behandeling © Opalis (Omgekeerd Bouwen)



Gegalvaniseerde liggers © lecoindupro



Liggers voorzien van een brandwerende bescherming in de vorm van flocking



Geschilderde liggers



Recuperatie van het materiaal

Recent geproduceerde stalen liggers zijn volledig gestandaardiseerd. Mits een goede coördinatie is een zorgvuldige ontmanteling met het oog op hergebruik meestal eenvoudig. De gedemonteerde liggers zijn goed geschikt voor hergebruik ter plaatse of via de hergebruikmarkt. Verschillende leveranciers bieden ook gerecupereerde liggers aan.

Deze fiche bespreekt liggers die apart worden gedemonteerd en afzonderlijk weer worden gemonteerd. Het is evenwel ook mogelijk volledige (onderdelen van) staalconstructies in hun geheel te recupereren.

→ **Voorafgaand onderzoek.** Dit laat toe herbruikbare liggers te identificeren en inventariseren, en na te gaan of hun demontage voor hergebruik haalbaar en rendabel is. In geval van losse elementen (bv. een latei), kan een 'deskundig oog' vaak de waarde van een partij inschatten op basis van foto's of een bezoek ter plaatse.

Wanneer het de bedoeling is een metalen constructie volledig of gedeeltelijk te recupereren, is het aangewezen het geheel en de elementen afzonderlijke grondig te onderzoeken en documenteren (opstellen van een gedetailleerd plan, opmetingen, etc.). Aandachtspunten zijn onder andere:

- de algemene staat van de elementen/de partij: aantallen, afmetingen van de elementen, zichtbare beschadigingen, aard en staat van de oppervlaktecoating, aan-/afwezigheid van gaten of versterkingen, etc.;
- de plaatsingsmethode (bouten, klinknagels, lassen, vastmetselen), de staat van de verbindingen en de demonteerbaarheid van de elementen;
- de commerciële waarde van een zorgvuldige verwijdering, afhankelijk van het type liggers, de hoeveelheid, het verkooppotentieel, etc.
- de logistieke omstandigheden op de demontagewerf, met name deadlines, arbeidsduur, nodige handelingen, transport, etc.

→ **Archiefonderzoek en controle van de staalkwaliteit.** Voorafgaand aan de ontmanteling zelf, is het ook nodig om bepaalde kenmerken van het gebouw en de liggers na te gaan, om er zeker van te zijn dat ze geschikt zijn voor demontage en hergebruik. Dit houdt in

Beperkingen

Verschillende referentiedocumenten (zie § 'Wist je dat') zijn het erover eens dat elementen die aan de volgende voorwaarden voldoen, **niet opnieuw mogen worden gebruikt**:

- liggers die blootgesteld werden aan extreme puntbelastingen, zware schokken of brand.
- liggers die vermoeiing vertonen, d.w.z. een zwakke plek die is ontstaan bij een metaal dat werd blootgesteld aan overmatige krachten, die plaatselijk de inwendige structuur hebben gewijzigd. Dit verschijnsel komt tot uiting door het ontstaan van scheurtjes (voor de breuk). Het kan worden veroorzaakt door herhaalde cycli van schokken of trillingen. Deze gebruiksomstandigheden zijn vrij zeldzaam in de bouwindustrie, maar kunnen bijvoorbeeld worden aangetroffen in liftschachten, bij rolbruggen, verkeersbruggen, spoorrails, etc.
- liggers afkomstig van extreme toepassingen (bv. blootgesteld aan radioactiviteit, etc.).
- liggers met een aanzienlijke afname van hun dwarsdoorsnede door corrosie (één document legt de grens op 5% van de dikte van het element). Dit wordt vooral aangetroffen bij liggers die ondergronds zijn geplaatst of zijn blootgesteld aan een hoge vochtigheidsgraad.
- liggers met zichtbare (of vermoedelijke) tekenen van plastische vervorming.
- liggers die vóór 1970 zijn vervaardigd, aangezien hun samenstelling wellicht niet voldoet aan de hedendaagse staalnormen. Het is evenwel mogelijk hun gebruiksgeschiktheid voor een bepaalde toepassing na te gaan op basis van een specifieke onderzoeken en tests.

dat de gebruiksomstandigheden van het materiaal moeten worden achterhaald en dat er informatie moet worden opgespoord in de bouwarchieven, bij de oorspronkelijke architecten, ingenieurs en/of aannemers, of in andere lokale bronnen. Deze informatie heeft betrekking op:

- **het gebouw:** bouwdatum, plannen, geografische ligging, soort gebruik en belasting (bv. corrosieve omstandigheden, kustgebied), eventuele schadegevallen (bv. brand, overstroming, aardbeving, schokken), etc.
- **de liggers:** technische fiche van de elementen (o.a. profieltype, staalsoort en -kwaliteit, aard van de coating), functie van de elementen (bv. kolom, balk, latei, etc.), gebruiksomstandigheden (bv. binnen/buiten, corrosieve omgeving, aard van de belastingen), eventuele reparaties, etc.

→ **Ontmanteling.** Wanneer er volledige constructies ontmanteld worden en er op hoogte moet worden gewerkt, vereist de zorgvuldige ontmanteling van stalen liggers een goede coördinatie om de veiligheid van de werknemers te garanderen en de integriteit van de liggers te waarborgen.

Met het oog op hun verdere traceerbaarheid wordt ten eerste aanbevolen de elementen afzonderlijk te identificeren door middel van een fysieke markering (lieft op het lijf, met

behulp van etiketten of watervaste, onuitwisbare en lichtechte markeerstiften).

Aaneengebouwde elementen kunnen mechanisch worden gedemonteerd ('ontbouten') of zo dicht mogelijk bij de verbindingen doorsneden worden, om de lengte van de elementen zo groot mogelijk te houden. Enkele aandachtspunten:

- Bouten zullen onder een te grote spanning plastisch vervormen. Dit moet tijdens de demontage nauwlettend in de gaten worden gehouden om het risico op breuk en instabiliteit te beperken.
- Lasverbindingen kunnen plotseling bezwijken. Voor de demontage van gelaste elementen is voortdurend ondersteuning van een hefwerktuig vereist om de last op de verbindingen te verlichten.
- De liggers mogen niet op de grond vallen.

→ **Reiniging en sortering.** Gerecupereerde liggers worden meestal ter plaatse, of later in een werkplaats of stock, gesorteerd volgens kwaliteit en grof gereinigd. Daarbij worden ze ontdaan van mortelresten. Ook hulpstukken die hinderlijk kunnen zijn bij het vervoer en de verplaatsingshandelingen, worden volledig of gedeeltelijk verwijderd (versterkingen, verbindingselementen, etc.). Liggers met verdachte vervormingen of sporen van vervuiling worden verwijderd.



→ **Bewerkingen.** Sommige liggers kunnen reeds na een beperkte reiniging worden hergebruikt, terwijl andere bijkomende bewerkingen kunnen vereisen, zoals:

- **Versnijden:** de liggers kunnen gemakkelijk op de gewenste lengte worden gebracht. De gebruikte procedés (bv. zagen, waterstraalsnijden, zuurstofsnijden, etc.) moeten compatibel zijn met de eisen op het vlak van maattoleranties, maximale hardheid en rechtheid van de randen.
- **Machinale bewerking:** de liggers kunnen in een werkplaats worden bewerkt in functie van de specifieke vereisten van de beoogde toepassing (draadtappen, lassen van extra elementen, buigen, uitsnijden van specifieke vormen, boren, etc.) Het is niet altijd nodig de oude lasverbindingen, verstijvers, hoekstaven, etc. te verwijderen. Het is toegelaten nieuwe bout- en andere gaten aan te brengen, op voorwaarde dat ze op voldoende afstand (meestal 100 mm) van de bestaande bout- en andere gaten worden aangebracht. Alle bewerkingen moeten beantwoorden aan de geldende specificaties voor nieuwe stalen liggers (o.a. EN 10034 voor I- en H-liggers).

- **Afwerking:** de corrosie-/brandwerende bescherming (indien aanwezig) kan tijdens de demontage beschadigd zijn. Daardoor kunnen de prestaties van de oorspronkelijke coating afgenomen zijn en niet voldoen aan de eisen van de beoogde toepassing. Het is aangewezen zich op de geldende normen te baseren en zo nodig aanvullende tests uit te voeren om de prestaties van de originele coating te bepalen (zie § 'Eigenschappen en geschiktheid voor beoogd gebruik').
 - Sommige originele coatings kunnen gevaarlijke stoffen bevatten (o.a. lood, asbest, zie § 'Gevaarlijke stoffen en voorzorgsmaatregelen').
 - Vertrouw niet te veel op de oorspronkelijke brandwerende coatings, aangezien deze vaak gevoelig zijn voor vocht en sterk afhankelijk zijn van de vorm, de plaats en de oorspronkelijke toepassing van het element vóór de demontage.
 - Indien een nieuwe oppervlaktecoating wordt overwogen, is het aangewezen de aard van de oorspronkelijke coating te bepalen, deze op passende wijze te verwijderen (o.a. zandstralen, gritstralen, chemisch afbijten) en de verwerkings- en voorbereidingsvoorschriften

voor de nieuwe coating in acht te nemen (de voorgeschreven normatieve specificaties zijn algemeen genomen dezelfde als voor nieuwe stalen liggers).

- Plaatselijke reparaties van de oude coating kunnen nodig zijn ten gevolge van schade die werd veroorzaakt door de demontage en/of door verdere bewerkingen met het oog op hergebruik (o.a. zagen, lassen, etc.). Bekijk zeker of de reparatieproducten onderling compatibel zijn.

Tip: Lotvorming!

Als er tests moeten worden uitgevoerd om de prestaties van het staal of de liggers te bepalen, is het raadzaam om tijdens de demontage identieke elementen in afzonderlijke partijen te groeperen.

De criteria voor deze groepering kunnen zijn: het formaat en de grootte van de elementen, hun oorspronkelijke toepassing (binnen/buiten, corrosieve omgeving, belastingsniveau, etc.), het type coating, etc.

Deze werkwijze maakt nadien de monsternamen van de partijen en de interpretatie van de testresultaten een stuk gemakkelijker.



Gerecupereerde balken met gelaste verbindingen
© Gebruikte bouwmaterialen Weert



Aantasting van de oorspronkelijke coating
© Gebruikte bouwmaterialen Weert



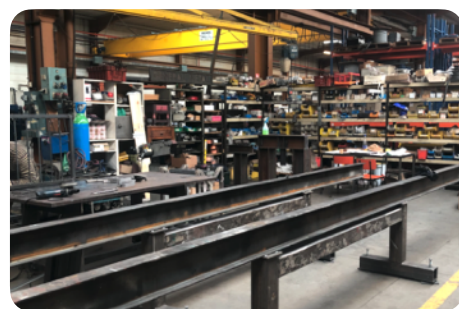
Vervormde hoeken
© Gebruikte bouwmaterialen Weert



Installatie voor het zagen van liggers
© Opalis (Wolter Bouwmaterialen)



Gezaagde liggers
© Opalis (Wolter Bouwmaterialen)



Bewerking van gerecupereerde liggers
© Opalis (Général Métal Réédition)



Stalen liggers

→ *Opslag en verplaatsingshandelingen.* Vanwege hun zware gewicht (de dichtheid van staal bedraagt 7.850 kg/m³) worden liggers doorgaans met geschikte hefwerktuigen verplaatst. Voor lange elementen wordt aanbevolen meerdere hijspunten te gebruiken. Het is wenselijk de hijspunten goed te beschermen, vooral als de coating moet worden behouden. Stalen elementen mogen buiten worden opgeslagen zonder bescherming tegen vocht of vorst. Het is echter raadzaam:

- de elementen niet rechtstreeks op de grond te stockeren, om corrosie te beperken,
- ervoor te zorgen dat er geen water op de liggers kan blijven staan,
- voldoende steunpunten te voorzien om vervorming te voorkomen,
- de elementen in afzonderlijke partijen op te slaan, die correct worden geïnventariseerd (zie kader 'Tip: Lotvorming!').

→ *Transport en levering.* Tijdens het transport en de levering moeten de nodige voorzorgsmaatregelen worden getroffen (vastzetten, laad- en losmaterieel, etc.). Door de grootte en het gewicht van de elementen kan het transport vrij duur zijn. Verschillende professionele leveranciers van gerecupereerde liggers vermijden de transport- en opslagkosten door de liggers ook rechtstreeks vanop de demontagerf te verkopen.



Opslag van stalen hergebruikliggers, met roestwerende beschermingslaag (rood) en zonder beschermingslaag (witte verf) © *Gebruikte bouwmaterialen Weert*



Opslag van liggers volgens profiel en formaat © *Opalis (Sarl Perrin)*



Opslag van gerecupereerde liggers op houten steunbalken © *Opalis (Premys Ferrari)*

Inspiratie

Tal van inspirerende projecten tonen aan dat hergebruik van staalconstructies op de schaal van volledige gebouwen niet alleen mogelijk, maar ook ecologisch en economisch interessant is. Het succes van deze projecten berust meestal op een combinatie van factoren zoals samenwerking met gespecialiseerde leveranciers, inschakeling van studie bureaus die de eigenschappen van de liggers kunnen analyseren en een vernieuwende aanpak om de geschiktheid voor het beoogde gebruik aan te tonen.

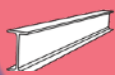
→ <https://projectsites.vtt.fi/sites/progress/cases.html>



Bedzed-project (2002), Hackbridge (VK). Hergebruik van 95 ton staal © *Bill Dunster Architects, ZedFactory*

https://library.uniteddiversity.coop/Ecological_Building/BedZED-Toolkit-Part-1.pdf





Toepassingen en plaatsing

Gerecupereerde stalen liggers zijn geschikt voor zeer uiteenlopende toepassingen. Ze kunnen voor structurele en niet-structurele doeleinden worden gebruikt, zowel binnen als buiten.

Voor meer veeleisende toepassingen kan een grondige bepaling en/of verificatie van de materiaaleigenschappen noodzakelijk zijn (zie § 'Eigenschappen en geschiktheid voor beoogd gebruik'). Gerecupereerde stalen liggers zijn over het algemeen niet geschikt voor extreme toepassingen waar de technische prestaties maximaal worden benut en de foutenmarge uiterst klein is (bv. structurele toepassingen die onderhevig zijn aan hoge spanningen of vermoeiing, toepassingen die een grote vervormbaarheid vereisen, seismische toepassingen, etc.)

Voor structurele toepassingen is het raadzaam reeds zeer vroeg in het ontwerp-proces een beroep te doen op stabiliteitsingenieurs om eerst op basis van het voorontwerp de geschikte soorten liggers te bepalen en vervolgens het ontwerp correct uit te werken op basis van de beschikbare profielen. Hierbij dient de nodige voorzichtigheid aan de dag gelegd te worden, zoals bijgestelde veiligheidsfactoren voor de berekeningen, overdimensionering van de structuur, etc.

Hergebruikliggers worden op dezelfde manier verbonden als nieuwe liggers. Indien ze worden gelast, moet specifiek rekening worden gehouden met het koolstofequivalent (CEV) van de profielen. Deze waarde geeft de 'lasbaarheid' van de liggers aan. Ze wordt bepaald door de chemische samenstelling van het staal. Zo nodig kan het kool-

stofequivalent worden bepaald door middel van destructieve en/of niet-destructieve proeven (zie § 'Eigenschappen en geschiktheid voor beoogd gebruik').

Er moet altijd rekening worden gehouden met de nationale en Europese productnormen (o.a. EN 1090-2: 'Het vervaardigen van staal- en aluminiumconstructies - Deel 2: Technische eisen voor staalconstructies'), de regels van de kunst en de geldende uitvoeringsnormen.

De meeste hergebruikleveranciers kunnen informatie verstrekken over de herkomst van de liggers, hun afmetingen en profieltype, maar dikwijls niet over hun technische kenmerken. Het gebrek aan informatie of certificatie van het materiaal moet dan worden opgevangen door veilige aannames over de technische kenmerken van het staal (o.a. de laagste waardes veronderstellen, compenserende maatregelen inlassen, rekenen met veiligheidsfactoren, overdimensioneren van de structuur, etc.) en/of door aanvullende tests.

Afhankelijk van het beoogde gebruik, kan het nodig zijn dat de ontwerper zijn verwachtingen toelicht met betrekking tot de volgende kenmerken:

→ **Soorten en afmetingen.** Om de kans te vergroten om geschikte elementen te vinden bij professionele leveranciers, wordt aangeraden om een zo groot mogelijk groep profielen te specificeren die mogen worden gebruikt in het ontwerp. Vaak volstaat het ook een minimumlengte op te geven in plaats van een exacte lengte, aangezien de profielen later gemakkelijk op de gewenste lengte kunnen worden gezaagd.

→ **Staat.** Gerecupereerd staal ziet er vaak anders uit dan nieuw staal. Er kunnen bout- of andere gaten, gelaste verbindingen, hulpstukken, etc. aanwezig zijn. Deze zijn op zich meestal geen probleem en kunnen behouden blijven. Indien nodig kan een beperking worden opgelegd voor de grootte en/of de plaats van bestaande (bout)gaten. Liggers met (bout)gaten of met oppervlakkige roestaanslag zijn over het algemeen geschikt voor hergebruik, maar er kunnen beperkingen gelden voor het aanbrengen van nieuwe gaten.

→ **Afwerking.** Zoals aangegeven in het hoofdstuk 'Recuperatie van het materiaal', kan men best niet te veel vertrouwen op de oorspronkelijke coatings en is het vaak beter een nieuwe coating aan te brengen, overeenkomstig de eisen van de beoogde toepassing.

→ **Hoeveelheid.** Om de kans te vergroten de benodigde hoeveelheid op de hergebruikmarkt te vinden, kan het projectteam ervoor kiezen deze op te splitsen in kleinere partijen, of een extern bedrijf aan te spreken om de elementen in te zamelen. Het is aangewezen de mogelijkheid open te laten om de partij hergebruikliggers aan te vullen met nieuwe elementen op cruciale punten in de constructie en/of om de gevonden hoeveelheden aan te vullen.

Over het algemeen worden gerecupereerde bouwmaterialen verkocht 'as is' (in de staat waarin ze verkeren). De verkoopsvoorwaarden kunnen echter specifieke garanties bevatten, eigen aan het materiaal (zie de inleidende fiche voor meer informatie).

Inspiratie



NTS-gebouw (2017), Thirsk (VK). Hergebruik van stalen liggers als draagstructuur © Cleveland Steel and Tubes (CST)

<https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/CS01-NTS-building-Thirsk.pdf>



Eigenschappen en geschiktheid voor beoogd gebruik

Staal heeft een erg lange levensduur en de technische eigenschappen gaan slechts zeer beperkt achteruit tijdens de gebruiksfase (onder normale omstandigheden). Om de geschiktheid voor beoogd gebruik van de hergebruikliggers te beoordelen is het vaak nodig dat bepaalde eigenschappen bekend zijn (zie onderstaande tabel).

Afhankelijk van het beoogde gebruik beoordeelt het projectteam - en met name de stabiliteitsingenieur - of er proeven nodig zijn om de mechanische eigenschappen en de chemische samenstelling van het staal van de hergebruikliggers te bepalen en te verifiëren. Voor het vaststellen van bepaalde eigenschappen kunnen destructieve proeven op een monster of niet-destructieve proeven op (enkele of alle) afzonderlijke elementen nodig zijn. Om de extrapolatie van de resultaten naar de hele partij te kunnen valideren moet er bijzondere aandacht besteed worden aan een geschikte bemonsteringsmethode en statistische aanpak.

Het vereiste aantal monsters en de aard van de uit te voeren tests kunnen van invloed zijn op de economische haalbaarheid van het project en dienen op tijd in rekening gebracht te worden. Enkele opmerkingen in dit verband:

- De vloeigrens, de maximale treksterkte, de taaiheid en de chemische samenstelling zijn gestandaardiseerd voor stalen liggers die na 1970 zijn vervaardigd. **Het al dan niet gekend zijn van de staalsoort en -kwaliteit van de liggers bepaalt in grote mate het aantal en de aard van de tests die nodig zullen zijn om hun gebruiksgeschiktheid aan te tonen.** Het is in dat opzicht dan ook nuttig de originele technische fiches en uitvoeringsdocumenten te raadplegen. Als deze informatie bekend is, dan volstaat in de meeste gevallen een eenvoudige visuele inspectie van de elementen om te bepalen of ze geschikt zijn voor hergebruik. Als deze informatie niet beschikbaar is, moeten test worden overwogen om, in functie van het beoogde gebruik, de nodige gegevens te achterhalen.
- Staalbouwconstructies worden ingedeeld in **drie normatieve gevolgklassen** (afgekort CC, 'consequence classes') naargelang de gevolgen bij instorting van de constructie in termen van verlies aan mensenlevens. Deze worden gekoppeld aan **uitvoeringsklassen** (EXC), die het uitvoeringsniveau, de kwaliteitsborging en de controle en beproeving regelen (zie Eurocode EN 1090-2:2018). Voor gebouwen in de hoogste uit gelden er meer eisen om de technische eigenschappen van de constructie-elementen te bepalen en te verifiëren.
- De principes van overdimensionering bij **het ontwerp**, het gebruik van extra veiligheidsfactoren en/of het werken met minimumwaarden voor bepaalde eigenschappen, kunnen eveneens de nood aan uitgebreide beproevingen verminderen. Soms zal het echter voordeliger zijn bepaalde eigenschappen aan te tonen door middel van proeven om de prestaties van de liggers ten volle te kunnen benutten.
- De uitvoering van de tests op het staal en de liggers dient te worden toevertrouwd aan erkende laboratoria die over de juiste infrastructuur beschikken en de correcte monsternamen alsook de analyse en interpretatie van de verkregen resultaten kunnen garanderen.
- In tal van praktische handleidingen zijn concrete methodologische procedures te vinden voor het hergebruik van stalen liggers. In deze documenten wordt onder meer aangegeven welke tests nodig zijn voor welke soorten toepassingen, op hoeveel monsters en of ze al dan niet statistisch moeten worden uitgevoerd (zie § 'Wist je dat?').

Eigenschappen	Commentaar
Dimensionale karakteristieken (lengte, breedte, dikte)	Deze kenmerken hangen nauw samen met de mate van sortering van de gerecupereerde elementen. Een zorgvuldige visuele inspectie en eenvoudige opmetingen volstaan vaak om deze te bepalen. De afmetingen van de dwarsdoorsnede van de stalen liggers zijn sinds de jaren 1970 algemeen genormaliseerd (zie EN 10365 voor warmgewalste U-, I- en H-doorsneden).
Maat- en vormtoleranties	De toleranties op de doorsnede en de vorm van de liggers zijn gespecificeerd in verschillende Europese normen (EN 10034 voor I- en H-profielen). Een zorgvuldig visueel onderzoek van de partij volstaat vaak om deze te bepalen.
Taaiheid	De taaiheid (of kerfslagsterkte) is het vermogen van staal om energie te absorberen en plastisch te vervormen zonder te breken of barsten onder een plotselinge belastingen. Deze eigenschap is afhankelijk van de staalsoort en de omgevingstemperatuur. Ze wordt in de technische documentatie gespecificeerd in de 'subgrade' (bv. door de letters JR in de uitdrukking 'S 275 JR') voor staalsoorten die na 1970 zijn vervaardigd. Deze eigenschap dient nagegaan te worden voor specifieke en veeleisende toepassingen, doorgaans in een buitenomgeving bij zeer lage temperaturen. Voor binnenstaal dat niet aan vermoeiing onderhevig is, volstaat vaak een veilige aanname (d.w.z. de laagste JR-kwaliteit zoals gedefinieerd in EN 10025). In sommige gevallen is het echter nuttig om door middel van destructief onderzoek (Charpy-proef) aan te tonen dat het staal een betere taaiheid heeft dan deze minimumwaarde.



Eigenschappen	Commentaar
<p>Mechanische sterkte</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vloei grens • Treksterkte • Breukrek 	<p>De vloei grens is de maximale belasting waarboven een element blijvend zal vervormen (d.w.z. dat het in de 'plastische' zone komt). De treksterkte is de maximale belasting die een onderdeel kan weerstaan voordat het bezwijkt en vervolgens breekt.</p> <p>Deze kenmerken zijn afhankelijk van de nominale dikte van de balken en worden aangegeven door de staalsoort. Een stalen balk (16 mm dik) van het type S275 geeft bijvoorbeeld aan dat zijn vloei grens 275 N/mm² is. Op grond hiervan kan vervolgens worden vastgesteld dat de maximale treksterkte tussen 370 en 530 N/mm² ligt.</p> <p>Indien deze informatie niet beschikbaar is, kan ze worden vastgesteld aan de hand van proefmethodes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Destructieve trekproeven op een representatief monster (voor een partij gerecupereerde balken neemt de mate van betrouwbaarheid toe met het aantal monsters, zie EN ISO 6892-1). Bij trekproeven kan ook de breukrek worden bepaald, d.w.z. het vermogen van het materiaal om uit te rekken voordat het breekt (bij trekbelasting); dit is een belangrijke eigenschap om te kennen voor sommige specifieke toepassingen. • Niet-destructieve hardheidsmeting, met behulp van een draagbare hardheidsmeter. Onder bepaalde voorwaarden kunnen door het meten van de hardheid van staal zowel de vloei grens als de treksterkte van de elementen worden ingeschat aan de hand van tabellen (zie EN ISO 18265). <p>Deze eigenschappen worden ook gebruikt om het gedrag van balken onder buiging, samendrukking, afschuiving, enz. te modelleren.</p>
<p>Brandreactie</p>	<p>Staal wordt beschouwd als een onbrandbaar materiaal (Euroklasse A1), dat geen warmte of rook afgeeft. Het verliest echter snel zijn sterkte en stijfheid bij de hoge temperaturen die bij een brand worden bereikt. De omgevingswarmte kan de stalen elementen vervormen en tot instabiliteit van de constructie leiden.</p> <p>Klasse A1 geldt alleen voor het staal en is niet van toepassing op de coatings van de liggers. Het is daarom aangewezen de brandreactie te kennen van de gebruikte afwerkingsproducten (verf, etc.).</p>
<p>Brandwerendheid</p>	<p>De specifieke eisen in verband met brand worden bepaald door de nationale voorschriften. Deze eisen hangen onder meer af van de functie en eigenheden van een gebouw (bv. privéwoning of flatgebouw, nooduitgangen, terrassen op platte daken etc.) en de hoogte, maar ook van de mogelijkheid voor de gebruikers om het gebouw te ontruimen in geval van brand (woonzorgcentrum, ziekenhuis etc.).</p> <p>Op Europees niveau is de classificatie van de brandweerstand van verschillende bouwelementen beschreven in de norm EN 13501-2. Deze wordt uitgedrukt als een tijdsperiode R_f (in minuten) gedurende welke een constructiesysteem op het vlak van stabiliteit (R), vlamdichtheid (E) en thermische isolatie (I) aan de criteria voldoet.</p> <p>Daarom worden de constructie-elementen of -systemen over het algemeen gedimensioneerd en ontworpen volgens de Eurocode-normen om aan de nationale eisen te voldoen. In het geval van stalen constructie-elementen komt het er, naargelang de toepassing, vooral op aan de temperatuurstijging te vertragen om het draagvermogen van de constructie zo lang mogelijk in stand te houden:</p> <ul style="list-style-type: none"> • hetzij door de elementen overmaats te dimensioneren (dikkere elementen warmen minder snel op); • hetzij door een brandwerende bekleding aan te brengen op het staaloppervlak (bv. platen, opzwellende verven, opgespoten mortel, etc.) • of door de stalen constructie-elementen in te bouwen in een brandwerende betonnen bekleding.
<p>Geschiktheid om te lassen - 'lasbaarheid'</p>	<p>Bij gebrek aan precieze informatie kunnen een analyse van de chemische samenstelling van het staal en een metallurgisch onderzoek nodig zijn om de lasbaarheid van het staal te bepalen.</p> <p>De chemische samenstelling kan op niet-destructieve wijze worden bepaald door middel van optische emissiespectroscopie (mobiele apparatuur of in het laboratorium) of op destructieve wijze door een staalname (afzagen van een uiteinde of extractie van spanen door boren).</p> <p>Het metallurgische onderzoek (microscopie) gebeurt door staalname en maakt het onder meer mogelijk de structuur van het staal, de korrelgrootte en de insluitels vast te stellen.</p>
<p>Weerstand tegen corrosie</p>	<p>Dit kenmerk heeft vooral betrekking op de staat en de aard van de corrosiebeschermende bekleding. In een buitenomgeving moet het staal correct worden beschermd overeenkomstig de geldende normen. Binnen of in een niet-corrosieve omgeving zijn geen speciale voorschriften vereist.</p>



In sommige bijzondere gevallen moeten er ook andere kenmerken worden beoordeeld, bijvoorbeeld:

- Eisen met betrekking tot insnoering voor bepaalde soorten koppelingen/verbindingen
- Beperkingen op interne discontinuïteiten of scheuren in de laszones
- Gedrag bij hoge temperaturen (kruipproef)
- Vermoeiingsgedrag (torsieproef, buigproef, vermoeiingsproef door herhaalde schokken)
- Eisen in de dikterichting.
- Etc.



Draagbare hardheidsmeter © PCE Instruments France

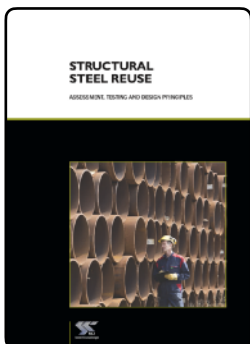
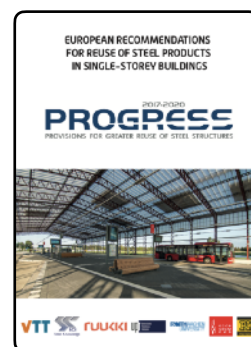
Referenties

EUROPESE AANBEVELINGEN VOOR HERGEBRUIK VAN STAALPRODUCTEN IN GEBOUWEN MET ÉÉN VERDIEPING (ENG)

https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/PROGRESS_Design_guide_final-version.pdf

Handleiding voor hergebruik van stalen elementen in constructies met één verdieping. Het document beschrijft verschillende hergebruikscenario's en geeft concrete richtlijnen voor het ontwerp en de berekening van constructies op basis van gerecycled stalen elementen.

Opgesteld door een panel van actoren in het kader van het PROGRESS-project (PROvisions for GREater reuse of Steel Structures), dat wordt gefinancierd door het RFCS (Research fund for coal and steel - Onderzoeksfonds voor kolen en staal).



HERGEBRUIK VAN CONSTRUCTIESTAAL / EVALUATIE, BEPROEVING EN ONTWERPPRINCIPES (ENG)

https://steel-sci.com/assets/downloads/steel-reuse-event-8th-october-2019/SCI_P427.pdf

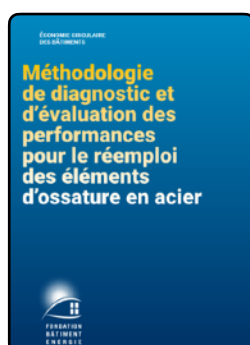
Handleiding met richtlijnen voor de beoordeling van de gebruiksgeschiktheid, testmethodes en de berekening van staalconstructies voor hergebruik.

Opgesteld door het Steel Construction Institute, Verenigd Koninkrijk, maar ook geldig in de landen die de Eurocode-normenreeks hebben goedgekeurd.

HERGEBRUIK VAN CONSTRUCTIE-ELEMENTEN VAN STAAL VOOR STRUCTURELE TOEPASSINGEN (FR)

<https://www.bbsm.brussels/wp-content/uploads/2021/06/annexe-20-WP6-fiche-produit-application-elements-de-structures-acier-de-reemploi-application-structurale.pdf>

Handleiding opgesteld in het kader van het BBSM-project (Bâti Bruxellois Source de nouveaux Matériaux) met richtlijnen voor hergebruik van stalen elementen, waarbij de richtlijnen zoals beschreven in 'HERGEBRUIK VAN CONSTRUCTIESTAAL / EVALUATIE, BEPROEVING EN ONTWERPPRINCIPES' worden getoetst aan de Belgische en Brusselse context, en meer bepaald in de algemene protocollen voor hergebruik zoals opgesteld binnen hetzelfde project.



METHODE VOOR DE EVALUATIE VAN DE EIGENSCHAPPEN VAN STALEN SKELETELEMENTEN, MET HET OOG OP HERGEBRUIK (FR).

Fondation Bâtiment Énergie (FBE), 2020.

<http://www.batiment-energie.org/doc/70/FBE-ECB-enjeu-A-ossature-V9.pdf>



Beschikbaarheid

HEA-, HEB- en IPE-liggers, en in mindere mate IPN- en HEM-liggers, worden vaak in kleine en middelgrote hoeveelheden aangeleverd op de hergebruikmarkt, voornamelijk bij sloopbedrijven die ook actief zijn in de verkoop van hergebruikmaterialen (elementen van hetzelfde type, variabele lengte, gemiddeld 4 tot 6 m):

Frequent	1 - 5 elementen
Ocasioneel	5 - 20 elementen
Zelden	20 - 100 elementen

Vaak worden grote aantallen liggers voor hergebruik rechtstreeks op de afbraakwerf gedemonteerd en verkocht om de transport- en opslagkosten te beperken. Daarom wordt aangeraden reeds vroegtijdig (bij het begin van het project) contact op te nemen met gespecialiseerde bedrijven om zo de kansen te vergroten een geschikte partij te vinden.

Gespecialiseerde leveranciers vinden

salvoweb.com opalis.eu

Richtprijzen (excl. btw)

De prijs van gerecupereerde stalen elementen kan sterk fluctueren, afhankelijk van de ontwikkelingen op de grondstoffenmarkt (met name de vraag naar gerecycleerd staal). Onderstaande tabel geeft een indicatie voor verschillende profielen (prijs per strekkende meter, geldend in 2021).

HEA-profielen:	HEA 100 : 18 €/m HEA 200 : 40 €/m HEA 300 : 75 €/m
HEB-profielen:	HEB 180 : 50 €/m HEB 220 : 70 €/m HEB 300 : 120 €/m
IPE-profielen:	IPE 120 : 10 €/m IPE 240 : 26 €/m IPE 360 : 50 €/m

Gevaarlijke stoffen en voorzorgsmaatregelen

	<p>Een <i>looddiagnose</i> kan nodig zijn om de aanwezigheid van oude roestwerende loodverf (loodmenie) op te sporen op de stalen liggers. In theorie werd loodmenie rond 1990 verboden in Europa. Deze diagnose kan worden uitgevoerd met behulp van een loodtestkit die in de handel verkrijgbaar is, door een verfstaal op te sturen naar een laboratorium of door de test te laten uitvoeren door een specialist. Indien de aanwezigheid van lood wordt vastgesteld, is het ten stelligste aangeraden om de ligger te laten afbijten en/of herschilderen door een gespecialiseerde firma. Het gebruik van een verfstripper, schuurmachine of schuurpapier om de loodverf te verwijderen, wordt ten zeerste afgeraden. Chemisch afbijten verdient de voorkeur, met inachtneming van de passende gezondheids- en milieuvoorschriften.</p>
	<p>De gerecupereerde stalen liggers kunnen vervuild zijn met <i>asbest</i> dat aanwezig was in oude brandwerende afwerkingslagen. Daarom is het raadzaam de liggers pas te verwijderen na de asbestverwijderingswerkzaamheden, en sowieso de asbestinventaris te raadplegen, indien beschikbaar.</p>

Embodied carbon (Cradle to gate - production A1-A3)

	kg CO ₂ eq./kg
INIES-databank (FR) – Collectieve informatie (CTICM) *	1,41
INIES-databank (FR) - Algemene informatie **	4,76
IBU-databank (DE) - individuele gegevens (EPD bauforumstahl e.V.) ***	1,74
ICE-databank (VK) ****	1,55

* Richtwaarde voor 1 kg stalen ligger met een dragende functie (kolom, balk, vloerbalk, etc.) of als gebintelement (spantonderdelen, gordingen, etc.), waarbij de in de ontwerpfase van het project voorgeschreven prestaties worden gewaarborgd, voor een referentielevensduur van 100 jaar, met een elasticiteitsmodulus van 210 GPa. Staalsoorten: S235, S275, S355 en S460 (gedefinieerd in de norm NF EN 10025).

** Richtwaarde voor 1 kg verticaal dragend stalen element, onderdeel van een staalskelet, voor een referentielevensduur van 100 jaar.

*** Richtwaarde voor 1 kg constructiestaal (profielen en platen). Geldt voor producten van de staalsoorten S235 tot S960, gewalst tot constructieprofielen, staafstaal en zware platen.

**** Richtwaarde voor 1 kg warmgewalst staalprofiel, meer bepaald I-liggers, H-liggers, liggers met brede flenzen en damwandprofielplaten.



De productie van nieuwe stalen liggers heeft een aanzienlijk milieueffect, met name vanwege de bevoorrading van grondstoffen uit de mijnbouw en/of de metaalrecycling, maar ook door de energie die het staalproductieproces zelf vraagt. Hergebruik een bijzonder doeltreffende strategie om de levensduur van een stalen component te verlengen. Naargelang de bron voorkomt het hergebruik van 1 ton staal de uitstoot van ~1410 tot ~4760 kg CO₂ eq., gerelateerd aan de productie van nieuw staal (enkel de productiefase). Dit komt overeen met de uitstoot van een kleine dieselauto over een afstand van ~8.400 tot ~28.600 km.



Inspiratie

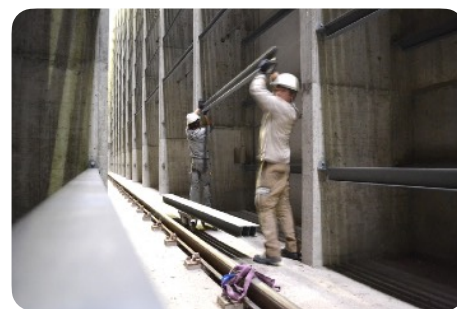
In 2021 integreerde het architectenbureau Bauburo In Situ stalen constructie-elementen in een project in Winterthur (Zwitserland). Het merendeel van de liggers (60 ton) was afkomstig van de afbraak van een 15 jaar oud gebouw, aangevuld met staal van andere sloopwerven (10 ton). Bij gebrek aan precieze informatie over de kwaliteit van het staal gingen het bureau en de ingenieurs uit van de laagste kwaliteit en pasten ze compenserende maatregelen toe voor het ontwerp van de constructie (bv. een verdubbeling van het aantal secundaire balken). Er werden geen tests uitgevoerd, en reparaties aan het oppervlak en aanvullende behandelingen werden slechts in beperkte mate toegepast. Brandweerstand werd waar nodig verkregen door bepaalde liggers in beton te gieten. Het ontwerp van het nieuwe gebouw werd in ruime mate bepaald door de dimensies van de gerecupereerde partijen, in die mate dat ook het verzagen van de liggers tot een minimum werd beperkt, en de meeste verbindingen zonder aanpassingen opnieuw gebruikt werden. © Martin Zeller, Baubüro in situ ag (<https://www.insitu.ch/projekte/196-k-118>).



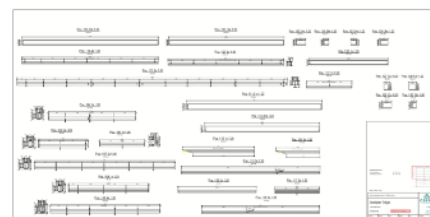
Recuperatie van de liggers



Recuperatie van de liggers



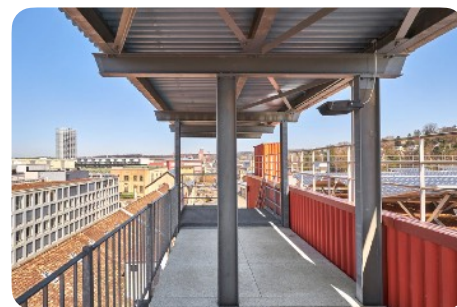
Recuperatie van de liggers



Inventarisatie van de elementen



Hergebruik van de liggers



Hergebruik van de liggers



Hergebruik van de liggers