

Werken onder overdruk Droge overdruk (Caisson- en Tunnelbouw en Hyperbare centra)

Opgesteld door :
Helger Siegert
Joost Kam
Richard Huisman
Arco Verhoeven

28 april 2008

Inhoudsopgave

1.	Beschrijving risicofactor	4
1.1a	Beschrijving effecten algemeen	4
1.1b	Beschrijving effecten	4
1.2	Omvang effecten	7
2.	Relevante werksituaties	8
2.1	Relevante Branches	9
2.2	Relevante beroepen	9
3.	Inventarisatie en evaluatie	10
3.1	Risico-inventarisatie	10
3.2	Metten	10
3.3	Blootstellingsmeting	10
3.4	Effectmeting	11
4.	Wetgeving	12
4.1	Arbowet	12
4.2	Arbobesluit	12
4.3	Arboregelingen	12
4.4	Overige nationale wetgeving	13
4.5	Europese wetgeving	13
5.	Beleid	14
5.1	Arboconvenanten	14
5.2	CAO afspraken	14
5.3	Brancheafspraken	14
5.4	Standaardisatie en normalisatie	15
5.5	Certificering	15
6.	Beheersmaatregelen	17
6.1	Arbeidshygiënische strategie	17
6.2	Bronmaatregelen	17
6.3	Organisatorische maatregelen	17
6.3a	Organisatorische maatregelen	17
6.3b	Organisatorische maatregelen, werken onder overdruk	20
6.3c	Organisatorische maatregelen, calamiteiten	20
6.4	Technische maatregelen	21
6.5	Persoonlijke beschermingsmiddelen	22
6.6	Implementatie van beleid	22
7.	Medisch onderzoek	23
7.1	Gezondheidseffecten en beroepsziekten	23
7.2	Diagnostiek en behandeling	24
7.3	Kwetsbare groepen en aanstellingskeuring	25
7.4	Preventief medisch onderzoek	26
8.	Werkgeversverplichtingen	26
9.	Werknemersverplichtingen	27
10.	Werknemersrechten	27
10.1	Rechten individuele werknemer	27
11.	Praktijkverhalen	27

12.	Referenties	27
13.	Referentie auteur	28
14.	Peer review.....	28

1. Beschrijving risicofactor

1.1a Beschrijving effecten algemeen

Soorten werken onder overdruk

Wie zich wil verdiepen in de effecten van het werken onder overdruk, moet allereerst weten wanneer hier precies sprake van is. Werken onder overdruk valt in de Nederlandse Arbowetgeving in twee delen uiteen. Het eerste deel hangt samen met het werken in caissons en andere hyperbare ruimten en het tweede met duiken. Deze beide vormen van werken onder overdruk brengen uiteenlopende risico's met zich mee.

Droge overdruk

Dit dossier zal zich voornamelijk richten op het eerste deel, de zogenaamde droge overdruk. Op onderstaande websites kan meer algemene informatie worden gevonden over caissonarbeid en het werken in hyperbare ruimten:

- [OSHA website, Verenigde Staten](#)
- [HSE website, Verenigd Koninkrijk](#)
- [European Committee for Hyperbaric Medicine](#)
- [European Baromedical Association](#)
- [P-194, Caissonarbeid](#) (P-bladen zijn niet meer geldig maar bevatten wel nuttige informatie).

Caissonarbeid

Van een caisson is sprake als de werkplek geheel of gedeeltelijk omgeven wordt door een vloeistof. Het werken in deze ruimten staat bekend als caissonarbeid. Volgens de Arbeidsomstandighedenwet is er sprake van caissonarbeid als de druk in een ruimte hoger is dan 10^4 Pa boven de atmosferische druk. (10^4 Pa is gelijk aan 0,1 bar). De druk in de ruimte is dus tenminste 1,1 bar hoog. Ook het transport náár deze ruimten valt onder de noemer werken onder overdruk.

Andere vormen van droge overdruk

Het werken óf verblijven in ruimten die niet (geheel of gedeeltelijk) zijn omgeven door een vloeistof maar waarin de druk wel hoger is dan 1,1 bar wordt ook gedefinieerd als arbeid onder overdruk. Deze vorm van arbeid onder overdruk komt bijvoorbeeld voor in compressiekamers en hyperbare behandelruimten. In de Arbeidsomstandighedenwetgeving wordt dit omschreven als "overige arbeid onder overdruk".

Duikarbeid

Het tweede deel, duikarbeid, wordt in het Arbobesluit gedefinieerd als het werken in een vloeistof, of een droge duikklok, waarbij voor de ademhaling gebruik gemaakt wordt van een gas onder een hogere druk dan de atmosferische druk. Dit wil zeggen dat het ademgas een druk heeft hoger dan 10^5 Pa (10^5 Pa is gelijk aan 1 bar). Klik [hier](#) voor meer informatie over duikarbeid.

1.1b Beschrijving effecten

Het menselijk lichaam is per definitie niet geschikt voor leven of werken onder overdruk. Door de verhoogde druk kunnen bijvoorbeeld inerte gassen worden opgenomen in weefsels. Bij het wegvallen van de overdruk kunnen deze gassen uit de oplossing komen en schade in het lichaam veroorzaken. Naast deze zogenaamde caissonziekte bestaat er nog een groot aantal andere effecten.

Hypoxie

De term hypoxie wordt gebruikt om een aandoening aan te duiden waarbij er een afname is van de zuurstoftoevoer naar de orgaanweefsels. Als de partiële zuurstofdruk tijdens het werken onder overdruk te laag wordt ontstaat hypoxie. Oorzaken voor hypoxie zijn onder meer ongeschikte samenstelling van ademgassen en onjuist gebruik van materiaal. Ook het verrichten van zware arbeid kan hypoxie veroorzaken. Langdurige hypoxie kan leiden tot bewusteloosheid, coma of zelfs de dood. Meer informatie over hypoxie is te vinden op [wikipedia](#).

Hyperoxie

Ons lichaam heeft zuurstof nodig om het in stand te houden. Lucht zoals wij die dagelijks inademen bestaat voor ongeveer 21% uit zuurstof. Normaal gesproken ademen we lucht onder atmosferische condities. Als de [partiële](#) zuurstofdruk tijdens het werken onder overdruk echter hoger is dan 1,3 bar

kan hyperoxie (zuurstofvergiftiging) ontstaan. Een belangrijke maat voor zuurstofvergiftiging is de Units of Pulmonary Toxicity Dose (UPTD). Deze is afhankelijk van blootstellingstijd en partiële druk. Hyperoxie kan onder andere leiden tot visuele effecten, duizelingen en stuip trekkingen. Partiële drukken kunnen worden uitgerekend met de [wet van Dalton](#). Klik: [hier](#) voor een artikel over hyperoxie en de gevolgen daarvan.

Stikstofnarcose

Verschillende gassen, waaronder stikstof, veroorzaken bij hogere [partiële drukken](#) (voor ademlucht vanaf een partiële druk van ongeveer 3 atmosfeer) narcoseachtige verschijnselen, de zogenaamde stikstofnarcose. Deze verschijnselen zijn goed te vergelijken met de effecten die optreden na het nuttigen van alcoholhoudende dranken. Met dit verschil dat wanneer de partiële druk weer afneemt de verschijnselen ook afnemen. Opgemerkt moet worden dat er sterke inter-persoonlijk verschillen zijn die ook in de tijd kunnen variëren. Door de stikstofnarcose wordt het beoordelingsvermogen sterk verminderd en kunnen gemakkelijk beoordelingsfouten worden gemaakt. Meer informatie over de narcotiserende werking van inerte gassen is te vinden in [dit artikel](#).

Decompressieverschijnselen

Bij verblijf in een ruimte met een hogere dan atmosferische druk zullen weefsels in het lichaam inerte gassen (zoals stikstof) opnemen. Dit gas is onder de dan aanwezige druk opgelost. Zolang deze druk aanwezig blijft, zal het gas in oplossing blijven. Denk maar aan een gesloten colafles: als de dop eraf gaat, komt het gas uit de oplossing en worden belletjes gevormd. In het menselijk lichaam kan bij een te snelle drukverlaging of het niet nakomen van decompressie verplichtingen het in de weefsels opgeloste gas eveneens ontwijken en belletjes vormen. Deze belletjes kunnen in het lichaam grote schade veroorzaken in bijvoorbeeld gewrichten, spieren en de hersenen. Dit probleem kan zich zelfs voordoen als aan alle voorwaarden en regels is voldaan (zogenaamde “onverdiende” decompressieverschijnselen). Oorzaken hiervan zijn onder andere uitdroging, lage temperaturen en het verrichten van zware arbeid. Klik [hier](#) voor een beschrijving van de effecten van het werken onder overdruk bij de bouw van de Eads en Brooklyn bruggen in Amerika.

Barotrauma door overdruk

Een barotrauma is een verwonding (trauma) die wordt veroorzaakt door druk. Doordat het volume van gassen toeneemt bij het afnemen van de druk ([wet van Boyle](#) waarbij het toegenomen volume geen uitweg kan vinden uit het lichaam kunnen trauma's ontstaan. Door bijvoorbeeld de volumetoename van gassen in de longen bij een plotselinge drukval kunnen longblaasjes scheuren. Door deze gescheurde longblaasjes kan het gas zich in het lichaam verspreiden en daar verdere schade aanrichten. Ook bij een slecht gesaneerd gebit kan een barotrauma ontstaan. Door kleine kanalen (foutjes bij het vullen) kunnen gassen zich onder vullingen nestelen. Bij een opstijging kunnen de kanaaltjes verstopt raken waardoor het uitzettende gas niet weg kan. Door deze volumetoename kan de tand of kies bezwijken.

Verwonding trommelvlies

Verwondingen aan trommelvlies kunnen ontstaan door zowel onderdruk als overdruk. In de beide varianten is er een onbalans in de druk aan de buitenzijde en de binnenzijde van het trommelvlies. Bij het afdalen, ontstaat een overdruk die, als er onvoldoende wordt gecompenseerd (klaren), kan resulteren in een beschadigd trommelvlies. Bij het opstijgen vindt iets soortgelijks plaats. Door een verkoudheid kan het compenseren problemen opleveren. Door bijvoorbeeld het gebruik van een neusspray kan dit probleem grotendeels worden verholpen. Bij het opstijgen, kan de buis van [Eustachius](#) (nodig bij het compenseren) echter weer verstopt zijn geraakt. In het binnenoor heerst nu een overdruk terwijl door het water in het buitenoor een onderdruk wordt gecreëerd. Ook hier kan het resultaat een beschadigd trommelvlies zijn.

Onjuiste keuze/samenstelling van ademgas

Het wel of niet ontstaan van decompressieziekten, stikstofnarcose of zuurstofvergiftiging is mede afhankelijk van de druk in een caisson of hyperbare ruimte en het gekozen gasmengsel. Wanneer deze niet goed op elkaar zijn afgestemd kunnen een of meerdere van de boven beschreven effecten in meer of mindere mate optreden.

Ademgasvervuiling

De ademgassen die bij het werken onder overdruk worden gebruikt kunnen vervuild zijn met andere gassen of vloeistoffen. Afhankelijk van de soort en omvang van de vervuiling kunnen de gevolgen

buitengewoon groot zijn. Deze gevolgen kunnen variëren van hoofdpijn tot overlijden. Vervuilingen kunnen onder andere worden veroorzaakt door vervuiling van de aangezogen lucht, slecht onderhoud van apparatuur en het falen van filters en/of waarschuwingssystemen. Vervuilingen die kunnen optreden zijn bijvoorbeeld verontreiniging met olie, koolmonoxide of kooldioxide.

Oogklachten

Door het werken in caissons kunnen klachten van bijziendheid (myopie) ontstaan. Ook bij een behandeling of het werken in een hyperbare ruimte kunnen deze klachten zich ontwikkelen. Waarschijnlijke oorzaak voor deze klachten is sclerose van de ooglenzen. Naarmate de partiële zuurstofdruk hoger en de blootstellingstijd langer is ontstaan de klachten eerder en zijn ze zwaarder. Over het algemeen zijn de klachten echter van voorbijgaande aard. Klik [hier](#) voor de resultaten van een Japans onderzoek (2002).

Gehoorschade

In recompressiekamers vindt tijdens het optoppen en afblazen blootstelling aan hogere geluidsniveaus plaats. Uit onderzoek van de Koninklijke Marine is gebleken dat het equivalente geluidsniveau tijdens het verblijf in een recompressiekamer met een maximale druk van 6 bar boven de 90 dB(A) komt. Bij deze hoge geluidsniveaus kunnen zelfs korte blootstellingen (van 15 -30 minuten) tot gehoorschade leiden.

Brand- en explosiegevaar

In zowel caissons als in hyperbare ruimten wordt over het algemeen gewerkt met hogere partiële zuurstofdrukken. Hoewel zuurstof zelf niet brandbaar is levert het wel een enorme bijdrage aan de mogelijkheden voor brand en explosies. In 2006 heeft zich in een hyperbare behandelruimte in Peru een brand voorgedaan. Deze brand is waarschijnlijk veroorzaakt door onvoldoende ventilatie waardoor een atmosfeer met een hoog zuurstofpercentage kon ontstaan in combinatie met een vonk uit elektrische apparatuur. Klik [hier](#) voor de samenvatting van het onderzoek.

Lange termijn effecten van overdruk

In verschillende publicaties wordt aangegeven dat de lange termijn effecten van het werken in droge overdruk in grote lijnen overeenkomen met de lange termijn effecten van duikarbeid. Ook in de mate waarin dit voorkomt worden overeenkomsten gemeld. Klik [hier](#) voor de samenvatting van een Japans onderzoek (1996). In een [publicatie \(2007\)](#) van de Health and Safety Executive (HSE) in het Verenigd Koninkrijk wordt zelfs gesuggereerd dat effecten bij caissonwerkers vaker voorkomen dan bij duikers.

Uit verschillende onderzoeken (onder andere Elliott en Moon 1983 en Bennet en Elliott 2003) zijn sterke aanwijzingen gekomen voor botafsterving (osteonecrose). Consensus uit deze onderzoeken en een conferentie in 2006 in Bergen (2006) is dat er bewijs is voor veranderingen in botten, het centrale zenuwstelsel en de longen. Deze aandoeningen zijn ook aangetoond bij individuen die niet betrokken zijn geweest bij decompressieongevallen.

Overige effecten caissonwerk

Naast de effecten die optreden bij situaties die specifiek zijn voor het werken onder overdruk (zoals hierboven beschreven) kunnen uiteraard ook effecten optreden die hier niet direct aan gerelateerd zijn. Voorbeelden hiervan zijn verwondingen door hogedrukapparatuur, beknellingen, getroffen worden door vallende voorwerpen, snijden en stoten en het gebruik van elektriciteit in een vochtige omgeving. Werkzaamheden, omstandigheden en effecten kunnen worden vergeleken met de situatie op een bouwplaats. Klik [hier](#) voor een link naar het dossier bouwproces.

Hyperbare geneeskunde

Op de website van de Nederlandse Vereniging voor Duikgeneeskunde is een aantal artikelen opgenomen met fysische grondslagen bij de hyperbare geneeskunde. Door binnen de website op literatuur te klikken kunt u de artikelen raadplegen. Klik [hier](#) voor de website van de Nederlandse Vereniging voor Duikgeneeskunde.

1.2 Omvang effecten

Over de omvang van de effecten van het werken onder droge overdruk zijn weinig algemene gegevens beschikbaar. Op het niveau van incidenten en ongevallen zelfs vrijwel niets. Onderstaand de hoofdlijnen van een aantal onderzoeken.

Decompressieziekte bij caissonwerkers

In het Verenigd Koninkrijk is door de HSE onderzoek (2003) gedaan naar het werken in caissons in de periode 1986 – 2000. Beschreven wordt dat 2 % van de blootgestelden aan een overdruk van 0,7 bar tot 3,45 bar heeft geleden aan een vorm van decompressieziekte. Kansen op decompressieziekten nemen toe naarmate de druk waarin gewerkt moet worden en de blootstellingstijd toenemen.

Slechts 4 % van de populatie is verantwoordelijk geweest voor 50 % van de decompressieongevallen waarvoor een behandeling noodzakelijk was. Onderzocht is of persoonlijke factoren een verklaring kunnen geven voor het ontstaan van decompressieziekten. Er is in het onderzoek geen verband gevonden tussen deze persoonlijke kenmerken en het ontstaan van decompressieziekten. Klik [hier](#) voor het volledige onderzoek.

Decompressieziekte bij hyperbare behandelingen

In 2002 is een onderzoek uitgevoerd naar het voorkomen van gasembolie bij verpleegkundigen die assisteerden bij hyperbare behandelingen. Bij 18 vrouwelijke verpleegkundigen die assisteerden bij 4500 blootstellingen aan hyperbare condities zijn 4 gevallen van decompressieziekte geconstateerd. Klik [hier](#) voor een samenvatting van het onderzoek.

Longfunctie bij hyperbare behandelingen

Bij een langlopend onderzoek bij verpleegkundigen die assisteerden bij hyperbare behandelingen is geen relatie gevonden tussen de blootstelling aan hyperbare condities en veranderingen van de longfunctie. Het onderzoek is uitgevoerd bij 14 vrouwelijke verpleegkundigen. Klik [hier](#) voor een samenvatting van het onderzoek (2004).

Oogklachten

Tijdens het uitvoeren van caissonarbeid is bij twaalf medewerkers onderzoek gedaan naar het voorkomen van myopie. Bij negen medewerkers is myopie daadwerkelijk vastgesteld. Van deze negen is het in zeven gevallen waarschijnlijk dat de myopie is veroorzaakt door het werken onder overdruk. Klik [hier](#) voor de resultaten van het Japanse onderzoek (2002).

Osteonecrose

In een Japans onderzoek (1998) is bij 1341 caissonwerkers in 31 gevallen (2,3 %) osteonecrose vastgesteld. Doel van het onderzoek was na te gaan of er een relatie bestaat tussen leverafwijkingen en het ontstaan van osteonecrose. Behalve naar leverfunctieafwijkingen is gekeken naar alcoholgebruik. Uit het abstract van dit Japanse dwarsdoorsnede-onderzoek blijkt een veel lagere prevalentie onder 'compressed air' workers dan onder duikers. Dit is tegenspraak met andere onderzoeken zoals het onderzoek van de HSE uit 2003. In Japan is het gebruik van alcoholhoudende dranken minder wijdverbreid dan in het Westen en op basis van genetische verschillen metaboliseren Aziaten doorgaans alcohol langzamer dan westerlingen. Klik [hier](#) voor een samenvatting van het onderzoek.

2. Relevante werksituaties

Uitgangspunten caisson- en tunnelbouw

De druk die nodig is in een caisson om veilig te kunnen werken is afhankelijk van de geotechnische en geohydrologische omstandigheden ter plaatse (onder andere diepte van de tunnel, kenmerken van de grond en de aanwezigheid van gas of water). Bij het gebruik van moderne tunnelboormethoden is het soms noodzakelijk om een hogere druk te handhaven om de werkzaamheden uit te kunnen voeren.

Pneumatisch caissonwerk

Een traditioneel caisson bestaat over het algemeen uit een betonnen doos waarvan de bodem verhoogd is aangebracht en waarvan de zijwanden aan de onderzijden zijn afgeschuind. Deze afschuiningen worden ook wel “messen” of “snijranden” genoemd. Het caisson wordt op de bodem van bijvoorbeeld een rivier of kanaal geplaatst. Met behulp van perslucht wordt het in de werkkamer aanwezige water verdreven. Een verhoogde druk moet er voor zorgen dat water de werkkamer niet kan binnendringen. De grond onder de werkkamer wordt vervolgens uitgegraven en naar buiten gebracht. De constructie zakt door haar eigen gewicht de bodem in daarbij geholpen door de messen aan de onderzijde en het eigen gewicht van de betonnen bak. Voor het overbruggen van de drukverschillen tussen de buitenlucht en de werkkamer wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde schutsluis.

Ondergronds bouwen onder luchtdruk

In een ruimte die met lucht onder overdruk wordt gehouden om het intreden van water te voorkomen wordt ook onder overdruk gewerkt. In principe zijn de werkzaamheden die hier worden verricht gelijk aan de werkzaamheden in de “normale” bouw. Om de werkruimte te betreden wordt ook hier gebruik gemaakt van een schutsluis. In deze schutsluis wordt het verschil in druk tussen de (atmosferische) buitenzijde en de werkplek overbrugd.

Tunnelbouw

Bij de moderne tunnelbouw wordt een grote stalen buis in de grond gedrukt en wordt aan de voorkant van de buis grond weggegraven. Omdat het front van de grond bij gebrek aan ondersteuning zou instorten, wordt in het voorste deel van de buis een overdruk gehandhaafd. Om dit te bereiken wordt de ruimte gevuld met bijvoorbeeld een zware vloeistof, die bestaat uit water en klei ('sludge'), die men vervolgens onder druk zet. In die dikke vloeistof boort de machine met behulp van beitels de grond los waarna de losgemaakte brokstukken worden afgevoerd. De tunnel zelf bestaat uit geprefabriceerde ringen van betonnen elementen, die binnen de stalen buis worden opgebouwd. De boormachine zet zich af tegen de gereed gekomen betonnen ringen en kan zich zo verder met kracht een weg banen door het volgende stukje grond. Wanneer in het boorfront werkzaamheden (bijvoorbeeld het vervangen van beitels) moeten worden uitgevoerd is er sprake van arbeid onder overdruk.

Klik [hier](#) voor een afstudeerscriptie van twee studenten van de Hogeschool Zeeland met (vanaf blz. 22) een beschrijving van verschillende technieken voor ondergronds bouwen.

Ademgas anders dan lucht

Vaak wordt bij caisson- en tunnelbouw gebruik gemaakt van lucht als het primaire ademgas. Bij grotere drukken levert het werken met lucht echter problemen op. Door de toename in druk nemen ook de partiële drukken in het ingeademde gas toe. Hierdoor kunnen o.a. zuurstofvergiftiging en stikstofnarcose ontstaan. Ook wordt bij grotere drukken veel stikstof in het lichaam opgelost waardoor de kans op decompressieverschijnselen toeneemt. Door gebruik te maken van alternatieven voor lucht zoals [nitrox](#), [heliox](#) en [trimix](#) kunnen deze effecten voorkomen of in ieder geval beperkt worden. In [dit](#) artikel (2006) worden de effecten van het gebruik van trimix bij de bouw van de Westerscheldetunnel beschreven.

Behandeling “duikongevallen”

Bij zowel duiken als caissonwerk kunnen [effecten](#) optreden die te maken hebben met (het wegvallen van) druk. Om deze effecten te behandelen kan het nodig zijn om de slachtoffers onder druk te brengen in een recompressiekamer. Een verdere behandeling bestaat over het algemeen uit het toedienen van zuivere zuurstof. Voor de behandeling van de slachtoffers is het soms noodzakelijk dat medisch personeel samen met het slachtoffer onder druk wordt gebracht.

Hyperbare behandelruimten

Naast de behandeling van slachtoffers van decompressieongevallen worden hyperbare ruimten meer en meer gebruikt voor de behandeling van andersoortige indicaties. Hierbij kan onder andere worden gedacht aan de behandeling van brandwonden, luchtbellen in een slagader, vergiftigingen, infecties, gevolgen van zuurstoftekort in het weefsel en substantieel bloedverlies. Ook hier bestaat de behandeling voor een belangrijk deel uit het onder druk brengen van patiënten en het toedienen van zuurstof. Bij deze behandelingen kan het noodzakelijk zijn dat medisch personeel in de recompressiekamer aanwezig is.

2.1 Relevante Branches

Het werken onder droge overdruk wordt in Nederland verricht door een beperkte groep mensen. Schattingen van het Nationaal DuikCentrum (www.ndc.nl) en de arbeidsinspectie geven aan dat er rond de 150 werkenden in de gehele sector zijn. Deze sector kan worden onderverdeeld in verschillende segmenten.

Caisson- en tunnelbouw

In de caisson- en tunnelbouw werken in Nederland naar schatting 100 mensen. Dit aantal is uiteraard volledig afhankelijk van uit te voeren projecten op dit gebied en de omvang daarvan. Voorbeelden van projecten waar onder overdruk wordt (of werd) gewerkt zijn:

- Kelders Ministerie van Defensie, Den Haag
- Pijlers Erasmusbrug, Rotterdam
- Westerschelde Tunnel, Zeeland
- Tramtunnel, Den Haag
- Noord/Zuid Metrolijn, Amsterdam

Hyperbare centra

Bij de 5 hyperbare centra in Nederland zijn naar schatting 50 mensen werkzaam die blootgesteld worden aan het werken onder overdruk. Deze centra bevinden zich in:

- Amsterdam (AMC)
- Den Helder (Koninklijke Marine)
- Hoogeveen (Instituut voor hyperbare geneeskunde)
- Rotterdam (Erasmus MC)
- Zwijndrecht (Hyperbaar zuurstof centrum Rijnmond)
- Arnhem (Rijnstate Ziekenhuis) geplande opening in april 2008

Klik [hier](#) voor een overzicht van de hyperbare centra in Nederland.

2.2 Relevante beroepen

Bij de paragraaf 2.1 relevante branches is een onderverdeling gemaakt naar de verschillende segmenten van de sector. In deze segmenten komen verschillende beroepen voor waar arbeid onder overdruk aan de orde is.

Caisson- en tunnelbouw

Een groot deel van de werkzaamheden in de caisson- en soms ook tunnelbouw is gelijk aan werkzaamheden die ook in de bouw onder atmosferische omstandigheden worden uitgevoerd. Onderscheidende factor is de blootstelling aan overdruk. Voorkomende beroepen zijn bijvoorbeeld lasser, grondwerker, ijzerwerkers en bouwvakker. Naast deze "alledaagse" werkzaamheden worden ook gespecialiseerde werkzaamheden uitgevoerd. Hierbij kan gedacht worden aan herstel- en onderhoudswerkzaamheden aan het boorfront van een tunnelboormachine (TBM). Deze werkzaamheden worden veelal uitgevoerd door duikers. In het dossier [Duikarbeid](#) wordt hier een beschrijving van gegeven.

Hyperbare centra

In hyperbare centra vindt een geneeskundige behandeling plaats onder overdruk. Deze werkzaamheden zijn in beginsel gelijk aan medische handelingen die onder atmosferische omstandigheden worden uitgevoerd. Ook hier is de onderscheidende factor de blootstelling aan onderdruk. Voorkomende beroepen zijn bijvoorbeeld verpleegkundigen en artsen.

3. Inventarisatie en evaluatie

3.1 Risico-inventarisatie

De arbowet verplicht de werkgever tot het in kaart brengen van de risico's die de arbeid voor de werknemers met zich mee brengt. Om de specifieke risico's bij het werken onder overdruk in kaart te brengen bestaan verschillende uitgangspunten en hulpmiddelen.

Caisson- en Tunnelbouw

Het werken in caissons en tunnels brengt specifieke risico's met zich mee. In het maandblad van de Nederlandse Vereniging voor Veiligheidskunde (NVvK) is in 1999 een artikel verschenen met betrekking tot de arbeidsomstandigheden bij het werken in ondergrondse tunnels. In dit artikel worden gevaren en beheersmaatregelen beschreven. Ook wordt in het artikel (beperkt) aandacht gegeven aan de specifieke gevaren van het werken onder overdruk. Klik [hier](#) voor het artikel.

Onderzoek Arbouw

Door de [Stichting Arbouw](#) is in samenwerking met het [Centrum Ondergronds Bouwen](#) een onderzoek (2000) uitgevoerd naar de arbeidsomstandigheden bij het boren van tunnels in Nederland. In dit onderzoek wordt in bijlage 2 stilgestaan bij het werken onder overdruk. Naast het bespreken van risico's en maatregelen komen ook beroepsziekten aan bod. Belangrijke aanbeveling is de inschakeling van deskundigheid op het terrein van arbeidsomstandigheden in het algemeen en hyperbare geneeskunde in het bijzonder zowel in de voorbereidings- als de uitvoeringsfase van tunnelbouwprojecten. Het onderzoek kan worden aangevraagd bij zowel de Stichting Arbouw als het COB. Bij het COB is het rapport bekend als N 800.

Onderzoek TNO

Door TNO is in opdracht van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid onderzoek uitgevoerd naar arborisico's in ondergrondse bouwwerken. In november 2003 is van dit onderzoek een rapport verschenen. In het rapport worden de specifieke risico's van het ondergronds werken beschreven en wordt aangegeven welke beheersmaatregelen bestaan. In het rapport worden op bescheiden schaal de gevaren van het werken onder overdruk en beheersmaatregelen beschreven. Klik [hier](#) voor het volledige onderzoek van TNO.

Hyperbare centra

Door het [European Committee for Hyperbaric Medicine](#) is een European Code of Good Practice uitgebracht. In deze publicatie wordt uitgebreid stilgestaan bij de veiligheids- en gezondheidsaspecten van het werken in hyperbare centra. In bijlage 3 van de code wordt een uitgebreide opsomming gegeven van mogelijke gevaren en gevolgen. Klik [hier](#) voor de Code of Good Practice.

3.2 Meten

Bij het ondergronds bouwen onder overdruk en het werken in caissons wordt voortdurend de luchtkwaliteit gemeten. Onder andere wordt het percentage zuurstof en de concentratie van mogelijke verontreinigingen gemeten. Bij alle werkzaamheden onder overdruk wordt de belangrijke parameter druk voortdurend gemeten en geëvalueerd.

3.3 Blootstellingsmeting

Zoals aangegeven bij de beschrijving van effecten kunnen tijdens of na het werken onder overdruk stikstofbelletjes in de bloedbaan ontstaan. Met behulp van ultrasone metingen kan vastgesteld worden in welke mate dit het geval is. Voor het uitvoeren van deze metingen bestaan verschillende methoden:

- Dopplermetingen met slechts geluidssignalen
- Ultrasone scantechnieken
- Dopplermetingen ondersteund door beelden

Uit onderzoek blijkt dat de genoemde methoden alle bruikbaar zijn en bij metingen in rust vergelijkbare resultaten geven. Bij andere soorten omstandigheden ontstaan onderlinge verschillen. Klik [hier](#) voor het volledige onderzoek.

Metingen bij caisson- en tunnelbouw

In 2007 is door de Health and Safety Executive (HSE) in het Verenigd Koninkrijk onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van Dopplersonderzoek bij tunnelbouwers. Doel van het onderzoek was na te gaan of deze metingen een bijdrage kunnen leveren aan het beperken van decompressiestress. Beschreven wordt op welke wijze Dopplersonderzoek kan worden toegepast onder operationele omstandigheden bij het werken onder overdruk. Klik [hier](#) voor het volledige onderzoek van de HSE.

Onderzoek bij gezondheidswerkers

Ook bij verpleegkundigen die werkzaamheden uitvoeren in recompressiekamers is met behulp van Dopplermetingen onderzoek gedaan. In een publicatie van Risberg et al wordt beschreven op welke wijze de onderzoeken zijn uitgevoerd. Klik [hier](#) voor de publicatie.

3.4 Effectmeting

Effecten van het werken onder overdruk kunnen gemeten worden met onder andere de volgende instrumenten: Vragenlijstonderzoek, psychologisch onderzoek en medisch onderzoek. Zelfs post-mortum onderzoeken worden hier voor gebruikt.

Vragenlijstonderzoek

Door het vergelijken van groepen respondenten kunnen verschillen opgespoord worden. Vragenlijsten kunnen bijvoorbeeld bestaan uit vragen over: beroepsmatige achtergrond, algemene gezondheid, klachten, gediagnosticeerde medische aandoeningen en kwaliteit van leven in relatie tot gezondheid. Vervolgens kan onderzocht worden of deze verschillen terug te voeren zijn op het uitvoeren van het werken onder overdruk. In een [onderzoek \(2004\)](#) van de HSE naar de langetermijneffecten van werken onder overdruk wordt deze methodiek beschreven.

Neurologisch en psychologisch onderzoek

Door middel van neurologisch en psychologisch onderzoek kan onderzocht worden in hoeverre sprake is van neurologische effecten. Voor deze onderzoeken bestaan verschillende standaardmethodieken. Enkele van deze methoden zijn:

- Finger Tapping Test
- Simple Reaction Time Test
- Verbal Memory Test
- Switching Attention Test
- Hand-Eye Coordination Test

Medisch onderzoek

In een medisch onderzoek kan gezocht worden naar de medische effecten van het werken onder overdruk. Belangrijke aspecten hierbij zijn:

- Afwijkingen aan de longen;
- Afwijkingen aan de botten (osteonecrose);
- Gewrichtspijnen en spierstijfheid.

[Hier](#) kunt u de richtlijnen voor medische geschiktheid van de European Diving Technology Committee (EDTC) vinden. Deze richtlijn is ook van toepassing voor caisson-, tunnelbouw en werkzaamheden in recompressiekamers.

Post-mortum

Door het uitvoeren van post-mortum onderzoek bij blootgestelden kunnen eventuele afwijkingen vastgesteld worden. Deze onderzoeken richten zich met name op afwijkingen in de hersenen en het ruggenmerg.

Audiometrisch onderzoek

Zie voor een beschrijving van audiometrisch onderzoek het dossier [schadelijk geluid](#).

4. Wetgeving

4.1 Arbowet

De Arbowet zelf bevat geen artikelen die specifiek handelen over caissonwerk en “overige arbeid onder overdruk”. Wel bevat de wet algemene artikelen gericht op veiligheid, gezondheid en welzijn. Belangrijke artikelen in de context van het werken onder overdruk zijn onder andere:

- Uitbreiding Toepassingsgebied: artikel 2 lid a t/m c
- Arbobeleid: artikel 3
- Inventarisatie en evaluatie van risico's: artikel 5
- Voorlichting en onderricht: artikel 8
- Melden van ongevallen en beroepsziekten: artikel 9
- Verschillende werkgevers: artikel 19
- Certificatie: artikel 20

Klik [hier](#) voor de volledige tekst van de Arbowet.

4.2 Arbobesluit

In het arbobesluit zijn wel specifieke bepalingen opgenomen met betrekking tot caissonwerk en “overige arbeid onder overdruk”. In hoofdstuk 6 (fysische factoren), afdeling 5 (werken onder overdruk) zijn deze bepalingen te vinden. Belangrijke bepalingen zijn:

- Definities en toepasselijkheid: artikel 6.13
- Geschiktheid: artikel 6.14
- Arbeidsgezondheidskundig onderzoek: artikel 6.14a
- Veiligheidsmaatregelen: artikel 6.15
- Certificering onderhoudssystemen duik- en caissonmaterieel: artikel 6.15a
- Caissonarbeid: artikel 6.19
- Compressiekamer caissonarbeid: artikel 6.20

De volledige tekst van het arbobesluit kunt u vinden door [hier](#) te klikken.

Melden caissonarbeid

Ten minste 30 dagen vóór het verrichten van caissonarbeid wordt een daartoe aangewezen toezichthouder hiervan schriftelijk in kennis gesteld, onder overlegging van een deugdelijk werkplan. Voor de winningsindustrie is het Staatstoezicht op de Mijnen (SodM) aangewezen als toezichthouder, voor de overige sectoren is de Arbeidsinspectie (AI) aangewezen als toezichthouder.

Arbobesluit en ZZP-ers

In het arbobesluit wordt in artikel 9.5 aangegeven wat de verplichtingen zijn voor zelfstandigen en meewerkende werkgevers. In dit artikel wordt aangegeven dat vrijwel alle bepalingen van het arbobesluit met betrekking tot caissonwerk en “overige arbeid onder overdruk” van toepassing zijn. Het gaat hierbij om de volgende artikelen: 6.14a, 6.15a, 6.16, 6.19 eerste lid en 6.20

4.3 Arboregelingen

Ook in de arboregelingen zijn artikelen te vinden die betrekking hebben op caissonarbeid en “overige werkzaamheden onder overdruk”. De regelingen geven een nadere invulling aan de artikelen uit het arbobesluit. Onderstaande artikelen hebben betrekking op keuringsartsen (duikerartsen), caissonwerkers en medisch begeleiders.

- Certificatie: artikel 6.1
- Opleidingen: artikel 6.5
- Eindtermen opleidingen: artikel 6.6
- Inhoud arbeidsgezondheidskundig onderzoek: artikel 6.7

Klik [hier](#) voor de volledige tekst van de arboregelingen.

4.4 Overige nationale wetgeving

Beleidsregels

Voor caissonarbeid zijn verschillende bepalingen uit het arbobesluit uitgewerkt in beleidsregels. Hoewel deze beleidsregels geen onderdeel uitmaken van het stelsel van wetten rondom arbeidsomstandigheden scheppen ze wel een duidelijk kader. In beleidsregel 6.14 worden de volgende aspecten met betrekking tot caissonwerk en “overige werkzaamheden” onder overdruk verder uitgewerkt:

- Beoordeling geschiktheid om te werken onder overdruk
- Eisen aan werkinstructies
- Eisen aan caisson, werkkamer, schutsluizen en compressiekamers
- Communicatiemiddelen
- Eisen aan overdruk- en ademgasvoorziening
- Noodenergievoorziening
- Medische begeleiding
- Eerste-hulp uitrusting
- Werkplan
- Voorzieningen van compressiekamers

Klik [hier](#) voor de volledige tekst van de beleidsregels.

Warenwet

Bij het werken onder overdruk wordt veel gebruik gemaakt van drukapparatuur. Deze apparatuur, de instanties en mensen die hier werkzaamheden met of aan uitvoeren moeten aan verschillende eisen voldoen. In het [warenwetbesluit drukapparatuur](#) worden deze eisen weergegeven.

Nationale kop

In een brief van de staatssecretaris van Sociale Zaken en Werkgelegenheid aan de Sociaal Economische Raad (SER) van oktober 2004 wordt aangegeven dat de wetgeving in Nederland met betrekking tot werken onder overdruk een zogenaamde nationale kop kent. In de brief wordt verder aangegeven dat wanneer de beroepsgroep er in slaagt onderling sluitende afspraken te maken over het werken onder overdruk overwogen wordt detailvoorschriften te schrappen. Klik [hier](#) voor de brief van de staatssecretaris. Uit een inventarisatie van het Ministerie van SZW blijkt dat vrijwel de gehele wetgeving rondom het werken onder overdruk tot de nationale kop gerekend kan worden.

4.5 Europese wetgeving

Europese Richtlijn

In de EG Richtlijn 92/57 wordt het werken onder overdruk genoemd als een specifieke activiteit waarvoor de richtlijn van toepassing is. Het gaat in deze richtlijn om veiligheid en gezondheid voor tijdelijke en mobiele bouwplaatsen. In het arbobesluit wordt verwezen naar deze richtlijn. Voor werkzaamheden onder overdruk dient volgens artikel 2.28 van het arbobesluit een veiligheids- en gezondheidsplan opgesteld te worden.

Klik [hier](#) voor de tekst van de Europese richtlijn.

Klik [hier](#) voor de tekst van het arbobesluit.

Internationale regelgeving

- [The Work in Compressed Air Regulations, UK](#)
- [Regulations Caissons, USA](#)

5. Beleid

5.1 Arboconvenanten

Er zijn in het verleden geen arboconvenanten afgesloten met betrekking tot het werken onder overdruk.

5.2 CAO afspraken

Er bestaat geen specifieke CAO voor caisson-, tunnelbouw of overige werkzaamheden onder overdruk.

5.3 Brancheafspraken

Organisaties

In de sector zijn verschillende organisaties actief. Onderstaand een overzicht van de belangrijkste nationale en internationale organisaties.

Nationaal Duikcentrum

Bij het Nationaal DuikCentrum (NDC) zijn vrijwel alle organisaties die activiteiten ontplooiën in de branche aangesloten. Het NDC initieert en coördineert veel initiatieven inclusief tunnel-, caissonarbeid en het werken in hyperbare behandelruimten. Klik [hier](#) voor de website van het NDC.

Centrum Ondergronds Bouwen

Het Centrum Ondergronds Bouwen is het nationale kenniscentrum voor ondergronds bouwen en ondergronds ruimtegebruik. Bij het COB zijn veel organisaties aangesloten die zelf werk onder overdruk uitvoeren of hier betrokken bij zijn. Opgemerkt moet worden dat voor het COB “werken onder overdruk” geen specifiek aandachtsgebied is. Klik [hier](#) voor een publicatie van het COB met een beschrijving van het netwerk.

Brancheorganisatie funderingstechniek

In Nederland hebben de aannemers die zich gespecialiseerd hebben in funderingstechniek zich verenigd in de Nederlandse Vereniging van aannemers van Funderingswerken (NVAF). De vereniging vervult een platformfunctie in de branche. De NVAF richt zich niet specifiek op het werken onder overdruk maar op funderingstechnieken in het algemeen. Klik [hier](#) voor de website van de NVAF.

Hyperbare behandelcentra

Internationaal bestaat het European Committee for Hyperbaric Medicine. Deze organisatie heeft onder andere tot doel om onderzoek te doen naar technische procedures, materieel en personeel. Hiernaast vervult de organisatie een vertegenwoordigende rol van de branche richting Europese gezondheidsorganisaties. Klik [hier](#) voor de website van de European Committee for Hyperbaric Medicine.

Werkenden in hyperbare centra

Europese verpleegkundigen, operators en technici die werkzaam zijn in of voor hyperbare centra hebben zich verenigd in de European Baromedical Association (EBASS). De association heeft als belangrijkste doelstelling het verbeteren van de integratie tussen verpleegkundigen, technici en operators. Klik [hier](#) voor meer informatie over EBASS.

Arbocatalogus

Op dit moment loopt een initiatief voor het ontwikkelen van een arbocatalogus voor de branche. Aan dit initiatief nemen onder andere het Nationaal Duikcentrum, vertegenwoordigers van bouwbedrijven, hyperbare centra en de vakbonden CNV Bedrijvenbond en Nautilus (vakbond voor zeevarenden) deel.

5.4 Standaardisatie en normalisatie

Bij het werken onder overdruk is sprake van een grote mate van standaardisatie en normalisatie. Er bestaat dan ook een grote verscheidenheid aan nationale en internationale standaarden en normen. Onderstaand een overzicht van instanties die normen of standaarden opstellen, uitgeven of beheren:

- [Nederlands Normalisatie Instituut](#)
- [Deutsches Institut für Normierung](#)
- [British Hyperbaric Association](#)
- [European Committee for Hyperbaric Medicine](#)
- [The Diving Medical Advisory Committee](#)
- [Centrum Ondergronds Bouwen](#)

5.5 Certificering

In Nederland is [arboregelingen](#) wettelijk vastgelegd aan welke eisen werkenden onder overdruk, medisch begeleiders en artsen (duikerartsen) moeten voldoen. Hierbij is sprake van certificatie van personen. Ook is vastgelegd aan welke eisen het systeem moet voldoen waarmee onderhoud aan caissonmaterieel wordt verricht. Hierbij is sprake van systeemcertificatie. Onderstaand wordt aangegeven op welke wijze de certificering rondom overdruk is georganiseerd.

Inrichting certificatie

Het systeem voor certificering is zo ingericht dat het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid (SZW) verantwoordelijk is voor het beleid rond wettelijk verplichte certificering. Door het ministerie worden vervolgens certificerende en keurende instanties (CKI's) aangewezen. Deze zijn verantwoordelijk voor het verzorgen van het wettelijk verplichte certificatietraject. De Inspectie Werk en Inkomen (IWI) is op haar beurt verantwoordelijk voor het (ministeriële) toezicht op de werking van het stelsel. Op verzoek van SZW voert de Raad voor Accreditatie (RvA) controles uit bij de CKI's. Deze controles zijn er op gericht na te gaan of de betrokken CKI's nog aan de gestelde eisen voldoen. Een Centraal College van Deskundigen (CCvD) is verantwoordelijk voor het ontwikkelen en beheren van certificatieregelingen in overeenstemming met de wettelijke bepalingen zoals beschreven in het arbobesluit en arboregelingen.

Certificerende instellingen

Het Nationaal Duikcentrum is door de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid aangewezen als certificerende instantie voor het beroepsmatig werken onder overdruk. De Defensie DuikSchool (voorheen duik- en demonteerschool) is door de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid eveneens aangewezen als certificerende instantie voor beroepsmatig werken onder overdruk.

Certificering in de toekomst

Op dit moment bestaat een situatie waarin normstellende- en certificerende instanties in één organisatie verenigd zijn. Dit staat haaks op het [kabinetstandpunt](#) over het gebruik van certificatie en accreditatie in het kader van overheidsbeleid. Om in lijn te komen met het kabinetstandpunt zal de wijze waarop certificering in de branche is georganiseerd moeten worden herzien.

Medisch begeleiders

Voor de juiste medische begeleiding van werkenden onder overdruk is de aanwezigheid van speciaal opgeleide medewerkers noodzakelijk. Voor de verschillende soorten werkzaamheden bestaan verschillende certificaten medisch begeleider.

Certificaat	Omschrijving
MAD-A	Medische begeleiding duikarbeid Categorie A, B en duiken met een gesloten duikklok niet zijnde saturatie-duikwerkzaamheden
MAD-B	Medische begeleiding van saturatieduiken en duiken op afgelegen plaatsen

In bijlage XVI van de arboregelingen zijn de eindtermen van de verschillende soorten medisch begeleiders opgenomen. Klik [hier](#) voor de volledige tekst van de arboregelingen.

Geldigheid

De duikmedische certificaten moeten geldig gehouden worden door het volgen van herhalingscursussen: de MAD-A tweejaarlijks, de MAD-B jaarlijks.

Certificering duikerartsen

Iedereen die arbeid onder overdruk wil verrichten is wettelijk verplicht zich jaarlijks medisch te laten keuren door een arts (duikerarts). Het Nationaal Duikcentrum en de Defensie Duikschool zijn door de minister van Sociale Zaken en Werkgelegenheid aangewezen als certificerende instantie voor duikerartsen. Op basis van de uitgangspunten in de arboregeling worden door het NDC en de DDS onderstaande indeling gehanteerd.

Duikerarts A

Deze duikerarts is bevoegd om de jaarlijkse herkeuringen van werkenden onder overdruk en de inkeuringen en herkeuringen van sportduikers uit te voeren. Een duikerarts A is een geregistreerde bedrijfsarts.

Duikerarts B

Deze duikerarts is bevoegd om de inkeuringen en de jaarlijkse herkeuringen van werkenden onder overdruk en de inkeuringen en herkeuringen van sportduikers uit te voeren. Ze zijn ook bevoegd om de duikmedische begeleiding van projecten uit te voeren en de behandeling van duikersziekte te leiden. Een duikerarts B is een geregistreerde bedrijfsarts.

Klik [hier](#) voor een overzicht van duikerartsen A en B.

In bijlage XVI van de arboregelingen zijn de eindtermen van duikerartsen opgenomen. Klik [hier](#) voor de volledige tekst van de arboregelingen.

Geldigheid

Voor de jaarlijkse verlening van het certificaat moet de duikerarts A minimaal tien keuringen per jaar verrichten en deelname aan minimaal één herhalingscursus per twee jaar. De duikerarts B moet een continue ervaring op duikmedisch gebied aantonen en deelnemen aan en/of participeren in een cursus of congres.

Soorten keuringen

Voordat men voor de eerste keer beroepsmatig onder overdruk gaat werken, of wanneer men de keuring heeft laten verlopen, moeten werknemers een inkeuring ondergaan. Inkeuringen mogen alleen verricht worden door een duikerarts B. Na de inkeuring dient jaarlijks herkeurd te worden. De herkeuring voor het werken onder overdruk mag uitgevoerd worden door naar keuze een duikerarts A of een duikerarts B.

Onderhoudssysteem duik- en caissonmaterieel

Materieel dat wordt ingezet bij het werken onder overdruk moet in een goede staat van onderhoud verkeren. Storingen kunnen immers leiden tot grote gevolgen. In het [arbobesluit](#) is dan ook vastgelegd dat het onderhoud aan duik- en caissonmaterieel moet worden uitgevoerd volgens een omschreven systeem. Deze omschrijving is vastgelegd in "De beoordelingsrichtlijn voor het onderhoudssysteem Duik- en Caissonmaterieel". In [dit](#) artikel wordt stilgestaan bij de achtergronden van de richtlijn.

Inhoud beoordelingsrichtlijn

In de beoordelingsrichtlijn (BRL) zijn bepalingen opgenomen met betrekking tot:

- registratie van het gebruik van duik- en caissonsysteem
- deugdelijk onderhoud van componenten
- minimale onderhouds- en keuringseisen van duik- en caissonsysteem
- technische eisen aan de componenten
- competenties van de personen die onderhoud plegen, keuringen uitvoeren en zorgen voor het samenstellen van de van duik- en caissonsysteem

De BRL is van toepassing op alle werkzaamheden die onder overdruk worden uitgevoerd: beroepsduikers, semi-overheidsduikers, brandweerdikers, categorie D duikers, werknemers hyperbare behandelcentra en werknemers in de caisson- en tunnelbouw.

Certificering onderhoudssysteem

Door certificerende instanties wordt door middel van audits nagegaan of ondernemingen voldoen aan het gestelde in de richtlijn. Bij het voldoen aan de voorwaarden wordt door de certificerende instantie een certificaat afgegeven. Bij het van kracht worden van deze richtlijn mogen werkzaamheden onder overdruk nog slechts verricht worden door een werkgever of zelfstandige die in het bezit is van het certificaat Duik- en Caissonmaterieel.

6. Beheersmaatregelen

6.1 Arbeidshygiënische strategie

De [arbeidsomstandighedenwet](#) verlangt dat knelpunten in eerste instantie bij de bron worden aangepakt, zodat de oorzaak van het probleem wordt weggenomen. Wanneer bronaanpak redelijkerwijs niet mogelijk is, kunnen andere maatregelen worden genomen. Voorbeelden hiervan zijn afscherming van de bron en afscherming van werknemers. Wanneer dit het risico onvoldoende reduceert kunnen organisatorische maatregelen worden genomen. Bijvoorbeeld rouleren van de werkzaamheden, zodat de blootstelling per persoon minder lang is. Als met de hiervoor genoemde maatregelen het risico nog niet aanvaardbaar laag is moeten persoonlijke beschermingsmiddelen verstrekt worden. De inzet van persoonlijke beschermingsmiddelen moet gezien worden als een tijdelijke maatregel totdat betere oplossingen voorhanden zijn.

6.2 Bronmaatregelen

Ontwerpfase

De opdrachtgever moet (volgens artikel 2.26) van het [arbobesluit](#) al in de ontwerpfase rekening houden met de arbeidsomstandigheden zoals die zullen ontstaan tijdens de uitvoeringsfase. Hiermee geeft de wetgever aan dat de opdrachtgever al bij het ontwerp moet nadenken over de arbeidsomstandigheden die zullen ontstaan tijdens de bouw en het gebruik van het bouwwerk. In de ontwerpfase moet dus al worden nagedacht over het beperken, voorkomen of veilig mogelijk maken van het werken onder overdruk. Zie voor een uitvoerige beschrijving van de ontwerpfase het dossier [bouwproces ontwerpfase](#).

Open bouwput

Door het werken in open bouwputten wordt voorkomen dat onder overdruk moet worden gewerkt. Door de toenemende vraag naar en noodzaak voor ondergronds bouwen zal dit echter niet altijd mogelijk zijn.

Grond- en waterkerend

Door het rondom aanbrengen van grond en waterkerende barrières kan het indringen van water zonder overdruk voorkomen worden. De werkzaamheden kunnen dan onder atmosferische condities uitgevoerd worden.

Klik [hier](#) voor een afstudeerscriptie van twee studenten van de Hogeschool Zeeland met (vanaf blz. 22) een beschrijving van verschillende technieken.

6.3 Organisatorische maatregelen

6.3a Organisatorische maatregelen,

In dit deel van het dossier worden maatregelen die verband hebben met de voorbereiding uitgewerkt. In Nederlandse wetgeving is veel aandacht voor het werken onder overdruk. Veel van de maatregelen vinden hun oorsprong dan ook in deze wetgeving (arboret, arbobesluit, arboregelingen en de beleidsregels).

Uitvoeren RI&E

Een belangrijke eerste stap in het treffen van maatregelen is het uitvoeren van een Risico-inventarisatie en –evaluatie (RI&E). Het uitvoeren van een RI&E kan op verschillende niveaus worden uitgevoerd:

- Ondernemingsniveau (procedures, onderhoudssystemen, inkoop etc.)

- Functieniveau (keuringen, opleiding, voorlichting etc.)
- Activiteitsniveau (omgeving, gebruik gereedschappen, specifieke voorlichting, etc.)

Onder risico-inventarisatie vindt een overzicht met specifieke instrumenten voor het werken in hyperbare centra en de caisson- en tunnelbouw.

Opstellen Veiligheids- en Gezondheidsplan

Voor werkzaamheden met een duikuitrusting en/of onder overdruk moet volgens artikel 2.28 van het [arbobesluit](#) een Veiligheids- en Gezondheidsplan (V&G plan) opgesteld worden. In dit V&G plan worden de volgende onder andere de volgende aspecten beschreven:

- een RI&E van specifieke gevaren die samenhangen met het werken door meerdere bedrijven
- de maatregelen die volgen uit de uitgevoerde RI&E
- afspraken met betrekking tot de uitvoering van de maatregelen
- wijze waarop toezicht op de maatregelen wordt uitgeoefend
- wijze waarop voorlichting en instructie aan de werknemers op de bouwplaats wordt gegeven.

In het dossier [bouwproces](#) wordt het V&G plan verder uitgewerkt.

Medische keuring

Om de kansen op het ontstaan van ongewenste effecten te verkleinen is het van belang dat werkenden onder overdruk aan bepaalde geestelijke en lichamelijke eisen voldoen. Iedere werkende moet dan ook beschikken over een medische goedkeuring afgegeven door een gecertificeerde duikerarts. De goedkeuring is geldig voor de termijn van 1 jaar. Duikerartsen B zijn bevoegd voor zowel het inkeuren als herkeuren van werkenden onder overdruk. Duikerartsen A zijn bevoegd voor het herkeuren. De verplichting voor de keuring is vastgelegd in het [arbobesluit](#). In bijlage XVII van de [arboregelingen](#) is de inhoud van de keuring vastgelegd. Tussen Nederland en het Verenigd Koninkrijk zijn afspraken gemaakt over de erkenning van uitgevoerde medische onderzoeken.

Voorspellen van decompressieziekte

Door de HSE is in 2003 onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om op basis van persoonlijke factoren een voorspelling is te doen over de kansen op het ontstaan van decompressieziekte. In het onderzoek is gebleken dat slechts 4 % van de populatie verantwoordelijk is geweest voor 50 % van de decompressiegevallen waarvoor een behandeling noodzakelijk was. Er is in het onderzoek geen verband gevonden tussen deze persoonlijke kenmerken en het ontstaan van decompressieziekten. Klik [hier](#) voor het volledige onderzoek.

Opleiding en certificering

Aan de medische keuring en medische begeleiding van werkenden in de tunnel-, caissonbouw en hyperbare centra worden hoge eisen gesteld. Het is dan ook belangrijk om voldoende kennis en vaardigheden te bezitten om deze werkzaamheden op een juiste wijze uit te kunnen voeren. Aan opleiding en certificering zijn dan ook wettelijke eisen gesteld. In bijlage XVII van de arboregelingen op www.wetten.overheid.nl zijn de eindtermen van de verschillende opleidingen vastgelegd.

Opleiding hyperbare centra

Het werken in een hyperbaar centrum brengt specifieke gevaren met zich mee. Denk hierbij bijvoorbeeld aan de blootstelling aan overdruk en het gebruik van zuivere zuurstof. Door de British Hyperbaric Association is een document opgesteld met daarin de opleidings- en trainingseisen die aan het personeel van hyperbare centra gesteld kunnen worden. Klik [hier](#) voor de publicatie van de British Hyperbaric Association.

Caissonarbeid

Volgens artikel 6.19 van het arbobesluit wordt caissonarbeid door ten minste twee personen verricht. Een caisson wordt gebouwd, geïnstalleerd, aangepast of gedemonteerd onder toezicht van een speciaal daarvoor aangewezen persoon. Caissons worden regelmatig door een speciaal daarvoor aangewezen persoon geïnspecteerd.

Beoordeling geschiktheid

In de beleidsregels (artikel 6.14 lid 2) wordt aangegeven dat voorafgaand aan het op druk brengen van caissonwerkers een beoordeling moet worden uitgevoerd met betrekking tot geschiktheid. Deze beoordeling moet worden uitgevoerd door gecertificeerd medisch begeleider.

Werkinstructie

In de beleidsregels (artikel 6.14 lid 2) worden eisen gesteld aan werkinstructies die voor caissonarbeid worden opgesteld. De werkinstructie, wordt als deugdelijk aangemerkt wanneer bij de weergave van de veiligheidsvoorzieningen en de noodprocedures ten minste aandacht is besteed aan:

- Verantwoordelijkheden en bevoegdheden
- Materieel en onderhoud.
- Uitrusting van werkkamer, schutsluizen en compressiekamer.
- Luchtdruk, temperatuur, luchtverversing en luchtzuiverheid in werkkamer, schutsluizen en compressiekamer.
- Luchtpompen en (nood)energievoorziening.
- Gebruik van elektriciteit en communicatie.
- Voorzieningen en procedures, in ieder geval ten aanzien van het in- en uitschutten, en de decompressie- en de behandelingstabellen.
- Voorzieningen en procedures voor situaties die afwijken van de algemeen voorkomende werksituaties.
- Noodprocedures die ten minste voorschrijven dat de caissonarbeid onmiddellijk wordt gestaakt zodra de reserveapparatuur voor het in stand houden van de overdruk of de noodenergievoorziening in werking treedt.
- Ongevall melding en medische hulp.
- Samenstelling en gebruik van de EHBO-uitrusting.
- Gedragsregels ten aanzien van rusttijd en vliegen na het verrichten van caissonarbeid.
- Voorlichting en onderricht.

In bijlage 15 van de beleidsregels wordt voor een aantal onderwerpen een mogelijk nadere uitwerking gegeven.

Constructie werkkamer

In beleidsregel 6.14, lid 4 worden eisen gesteld aan de werkkamer van een caisson:

- Uit berekeningen blijkt dat de werkkamer voldoende stabiel, sterk en lucht- en waterdicht is.
- De werkkamer heeft, met uitzondering van de aanvangssituatie, zodanige afmetingen dat de werknemers zich er rechtop in kunnen bewegen.

Stand van de techniek

In de beleidsregels (artikel 6.15 lid 5) wordt houvast geboden aan welke eisen voldaan moet worden voor wat betreft de stand van de techniek, de te verrichten werkzaamheden en onderhoud. In lid 5 wordt een opsomming gegeven van eisen aan:

- Het caisson zelf
- De personenschacht en de de personenschutsluis
- Aanwezigheid van en eisen aan een materialenschutsluis
- Aanwezigheid middelen
- Eisen aan overdruk- en luchtzuiverheidsinstallatie

Werkplan

In beleidsregel 6.14 lid 8 worden aanwijzingen gegeven voor de inhoud van het bij caissonwerk verplichte werkplan. Dit werkplan dient tenminste onderstaande elementen te bevatten:

- een opgave van de plaats waar de arbeid zal worden verricht en van het tijdstip waarop deze zal aanvangen
- een opgave van het vermoedelijke aantal werknemers dat op het gehele werk werkzaam zal zijn en van het aantal werknemers dat onder hogere dan atmosferische luchtdruk zal werken
- een volledig overzicht van het werk met tekeningen

Psychosociale arbeidsbelasting (PSA)

Om goed te kunnen functioneren hebben we een bepaalde mate van spanning nodig. Wanneer de hoeveelheid spanning die het werk met zich meebrengt echter groter is dan we kunnen hanteren is er geen sprake meer van een functionele spanning maar van stress. Effecten van stress zijn onder andere: verminderd concentratievermogen, verminderd vermogen om prioriteiten te bepalen, sneller vergissingen en fouten maken, besluiteloosheid, blikvernaauwing, prikkelbaarheid, haastgevoelens en verwardheid. Stress leidt dus tot verminderde prestaties en verstoort onze gemoedsgesteldheid. Tijdens het werken onder overdruk kunnen deze effecten grotere gevolgen hebben.

Beoordelingsfouten door verminderde concentratie kunnen leiden tot ongevallen met ernstig letsel tot gevolg. Aandacht door werkgevers voor PSA is van belang om stress en (fysieke) uitputting door stressreacties te voorkomen. Klik [hier](#) voor meer informatie over PSA.

6.3b Organisatorische maatregelen, werken onder overdruk

In dit deel van het dossier worden maatregelen die verband hebben met het werken onder overdruk zelf uitgewerkt. In Nederlandse wetgeving is veel aandacht voor deze werkzaamheden. Een aantal van de maatregelen vinden hun oorsprong dan ook in deze wetgeving (arbobesluit, arboregelingen en de beleidsregels).

Reductie van gezondheidsrisico's

In 1998 is door Flook et al in opdracht van de HSE een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden van het beperken van gezondheidsrisico's bij het werken onder overdruk. Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van zowel veldonderzoek als theoretische modellen. Bij het onderzoek is gebruik gemaakt van de Blackpool tabellen. Aanbevelingen worden gedaan over het gebruik van zuurstof tijdens het uitvoeren van werkzaamheden en bij decompressie, het gebruik van tabellen en de lengte van blootstelling. Klik [hier](#) voor het volledige onderzoek.

Gebruik van zuurstof bij decompressie

In vervolg op het onderzoek van Flook (1998) is in 2001 door Flook nieuw onderzoek gedaan naar het gebruik van zuurstof bij decompressie. Ook bij dit onderzoek is gebruik gemaakt van de Blackpool tabellen. De publicatie bevestigt de positieve werking van zuurstof tijdens decompressie op het ontstaan van decompressieziekten. Klik [hier](#) voor de volledige publicatie van de HSE.

Gebruik Dopplermetingen

In 2007 is door de HSE een onderzoek gepubliceerd waarin Dopplermetingen worden gebruikt voor het beheersen van hyperbare blootstellingen. In het onderzoek wordt aangegeven dat het gebruik van deze metingen een bijdrage kan leveren aan het beperken van decompressiebellens en het verminderen van de kans op het ontstaan van lange termijn effecten. Wel wordt gesteld dat het aantonen van daadwerkelijke verbanden moeizaam zal zijn mede in verband met de late ontdekking van lange termijn effecten. Klik [hier](#) voor het volledige onderzoek van de HSE.

Gebruik duiktabellen

Om het ontstaan van decompressieziekten te voorkomen wordt gebruik gemaakt van tabellen. Afhankelijk van onder andere druk, blootstellingstijd en het gebruikte ademgas kan een keuze gemaakt worden voor een of meerdere tabellen. Door Prof. Dr. Sterk, bijzonder hoogleraar onderwaterfysiologie aan de Universiteit van Leiden, zijn tijdens het uitvoeren van de Oosterscheldewerken tabellen ontwikkeld. Deze tabellen zijn specifiek toegesneden op de omstandigheden in de Nederlandse civiele waterbouw. Voor de werkzaamheden aan de Westerscheldetunnel is, vanwege de hoge drukken, gebruik gemaakt van aangepaste tabellen. Klik [hier](#) voor een samenvatting van een publicatie over deze aanpassing. Door de HSE is in 2003 een vergelijking gemaakt tussen de verschillende zuurstof decompressietabellen die worden gebruikt bij het werken onder overdruk. Klik [hier](#) voor het onderzoek.

Effectiviteit tabellen

In 2002 is een publicatie verschenen van Andersen waarin het gebruik van Franse tabellen van 1974 wordt vergeleken met het gebruik van de nieuwe Franse tabellen (1992). Door de omschakeling van de oude tabellen naar de nieuwe tabellen is een spectaculaire daling van het aantal decompressie-incidenten bereikt. Klik [hier](#) voor de publicatie van Andersen.

Keuze ademgas

Door een juiste keuze van het ademgas kunnen effecten als zuurstofvergiftiging, stikstofnarcose en decompressieziekte voorkomen worden. Deze keuze hangt onder andere af van de blootstellingstijd en druk. Bij de werkzaamheden op grote diepte aan de Westerscheldetunnel is gekozen voor het gebruik van trimix als ademgas. In [dit](#) artikel (2006) worden de effecten van het gebruik van trimix beschreven.

6.3c Organisatorische maatregelen, calamiteiten

In dit deel van het dossier worden maatregelen die verband hebben met de voorbereiding op calamiteiten uitgewerkt. In Nederlandse wetgeving is veel aandacht voor het werken onder overdruk.

Veel van de maatregelen vinden hun oorsprong dan ook in deze wetgeving (arbobesluit, arboregelingen en de beleidsregels).

Brandbestrijding

Door de bijzondere omstandigheden in hyperbare ruimten (verhoogde druk en wellicht een verhoogde zuurstofconcentratie) kan de ontwikkeling van brand bijzonder snel verlopen. Het bestrijden van dit soort branden vraagt dan ook vaardigheden die niet in de gebruikelijke BHV-cursussen aan de orde komen. In België wordt een specifieke cursus op dit gebied aangeboden. Klik [hier](#) voor meer informatie.

Medische begeleiding

Wanneer arbeid onder overdruk wordt verricht moet, volgens het arbobesluit artikel 6.15 ervoor gezorgd worden dat nabij de arbeidsplaats een daartoe opgeleid persoon aanwezig is die de het werk adequaat medisch kan begeleiden. Dit is de zogenaamde duikmedisch begeleider. De duikmedische begeleider houdt onder meer toezicht op het in- en uitschutten, en wel zodanig dat hij in staat is de in en uit te schutten personen te observeren. Zie bij certificering voor informatie over benodigde opleidingen en certificering.

Oproepbaarheid duikerarts

Volgens het Arbobesluit 6.15 lid 2 moet de duikmedische begeleider voortdurend (24 uur per dag) in contact kunnen treden met een duikerarts A of B. De werkgever zal dan ook een contract met een deskundige of een deskundige dienst moeten afsluiten.

Zuurstofkoffer en EHBO-voorzieningen

Beleidsregel 6.14 lid 7 geeft aan dat bij het uitvoeren van caissonarbeid een zuurstofkoffer aanwezig moet zijn. Ook moet een EHBO-koffer aanwezig zijn die is afgestemd op de werkzaamheden. De inhoud van deze EHBO-koffer moet zijn afgetekend door een duikerarts A of B.

Compressiekamer werkdruk > 1,5.10⁵ Pa

Wanneer (volgens artikel 6.20 van het arbobesluit) op een druk hoger dan 1,5.10⁵ Pa boven de atmosferische druk caissonwerk wordt verricht moet **altijd** een geschikte compressiekamer aanwezig zijn. Deze compressiekamer moet voorzien zijn van een personen- en medicijnsluis. De aanwezige compressiekamer dient in omvang en inrichting te zijn afgestemd op het aantal personen dat caissonarbeid verricht en de aard van de werkzaamheden en biedt ten minste plaats aan twee personen.

Compressiekamer werkdruk < 1,5.10⁵ Pa

Wanneer (volgens artikel 6.20 van het arbobesluit) de werkdruk lager is dan 1,5.10⁵ Pa boven de atmosferische druk **en** de reisafstand naar een compressiekamer is korter dan 2 uur dan hoeft bij de plaats waar men de caissonarbeid verricht **geen** compressiekamer aanwezig te zijn. Wanneer een compressiekamer niet binnen 2 uur bereikbaar is dan moet een compressiekamer nabij de arbeidsplaats aanwezig zijn.

De aanwezige compressiekamer dient in omvang en inrichting te zijn afgestemd op het aantal personen dat caissonarbeid verricht en de aard van de werkzaamheden en biedt ten minste plaats aan twee personen. Klik [hier](#) voor een lijst met hyperbare centra

Tijd tot behandeling

Door de HSE is onderzoek gedaan naar de relatie tussen de tijd tussen een decompressieongeval en behandeling en de resultaten van de behandeling. Klik [hier](#) voor dit onderzoek.

6.4 Technische maatregelen

Onderhoudsysteem duik- en caissonmaterieel

Uit onderzoek van de HSE (2006) is gebleken dat door het niet of slecht uitvoeren van onderhoud de kans op het ontstaan van incidenten toeneemt. Het is dan ook niet zonder reden dat de wetgever heeft besloten tot de certificeringplicht voor onderhoudssystemen van duik- en caissonmaterieel. In de paragraaf 5.5 Certificering is een beschrijving gegeven van dit verplichte onderhoudsysteem. In de richtlijn wordt aanwijzingen gegeven voor de inrichting van het systeem:

- registratie van het gebruik van duik- en caissonsysteem

- deugdelijk onderhoud van componenten
- minimale onderhouds- en keuringseisen van duik- en caissons systemen
- technische eisen aan de componenten
- competenties van de personen die onderhoud plegen, keuringen uitvoeren en zorgen voor het samenstellen van de van duik- en caissons systemen

Kwaliteit ademgas

De kwaliteit van ademgas is van groot belang bij het werken onder overdruk. Zelfs kleine verontreinigingen kunnen leiden tot grote gevolgen. Vaak zijn ademgas systemen voorzien van meet- en alarmerings systemen om een goede kwaliteit te kunnen garanderen. Voor de kwaliteit van ademlucht bestaat de internationaal erkende norm NEN-EN 12021. In een [brochure](#) van de HSE worden aanwijzingen gegeven voor de kwaliteit van ademlucht.

Omgang met zuivere zuurstof

Hoewel zuurstof zelf niet brandbaar is bestaat bij het werken met zuurstof wel brand- en explosiegevaar. Zuurstof is een zogenaamde brandbevorderende stof. Het is dan ook van belang, zeker bij hogere drukken, te voorkomen dat zuurstof in aanraking komt met ontstekingsbronnen en brandbare stoffen. Zelfs het verontreinigen van de schroefdraad van een cilinder met lichaamsvet kan voldoende zijn voor het ontstaan van een brand of explosie. Aangeraden wordt dan ook om voor het werken met zuurstof protocollen op te stellen en technische voorzieningen te treffen. Klik [hier](#) voor een publicatie van de HSE met betrekking tot de omgang met zuurstof.

Brandgevaar

Door de aanwezigheid van hogere drukken en zuivere zuurstof bestaat bij hyperbare ruimten het gevaar van brand. Door de British Hyperbaric Association is een standaard opgesteld waarin beschreven wordt welke maatregelen getroffen kunnen worden om de brandveiligheid te vergroten. Klik [hier](#) voor de publicatie van de British Hyperbaric Association.

Elektrische veiligheid

Ook met betrekking tot elektrische veiligheid in hyperbare ruimten is door de British Hyperbaric Association een standaard opgesteld. In deze standaard worden onder andere aanwijzen gegeven voor het beperken van brandgevaar en de omgang met gevoelige medische apparatuur. Klik [hier](#) voor de publicatie van British Hyperbaric Association.

6.5 Persoonlijke beschermingsmiddelen

In zijn algemeenheid kunnen bij het werken onder overdruk de middelen die individueel worden gebruikt bij de ademhaling als persoonlijke beschermingsmiddelen worden gezien. Er zijn echter situaties dat er aanvullende persoonlijke beschermingsmiddelen noodzakelijk zijn.

Gehoorschade

Door de HSE is in 2000 onderzoek gedaan naar blootstelling aan geluid onder hyperbare omstandigheden. In het onderzoek wordt geconstateerd dat geluid zich onder deze condities volledig anders gedraagt dan onder atmosferische omstandigheden. De resultaten van het onderzoek conflicteren gedeeltelijk met eerder uitgevoerd onderzoek door onder andere Molvaer (1981) en Curley (1986). Geconcludeerd wordt dat het gedrag van geluid onder hyperbare omstandigheden op dit moment onvoldoende doorgrond kan worden. Geadviseerd wordt om programma's voor geluidreductie en gehoorbescherming op te zetten. Klik [hier](#) voor het onderzoek van de HSE.

6.6 Implementatie van beleid

Implementatie van beleid

Om maatregelen te implementeren is het over het algemeen aan te raden voor een projectaanpak te kiezen. Niet alleen de maatregelen zelf, maar ook hoe die worden geïmplementeerd is belangrijk: hoe groter het draagvlak hoe beter de implementatie. Een projectaanpak biedt onder andere de mogelijkheid medewerkers uit de verschillende geledingen van de organisatie erbij te betrekken en (externe) deskundigen te raadplegen (arbo dienst of gespecialiseerde deskundigen en instituten).

Handhaving beleid

Na de implementatie van het beleid is het noodzakelijk dit beleid te handhaven en in stand te houden. Dit kan door bijvoorbeeld in een rapportage een evaluatie van het beleid op te nemen. Uit de evaluatie en de rapportage komen eventueel onderdelen van het beleid naar voren die bijgesteld/geactualiseerd moeten worden.

Verankering

Naast het stellen van doelen is het aan te bevelen prestatie-indicatoren te benoemen. Daarover kan gerapporteerd worden in rapportages. Door de resultaten van beleid te koppelen aan de algemene beoordelingscyclus in de organisatie wordt de motivatie om actie te ondernemen verhoogd. Het beleid krijgt zo meer status.

Samenwerking branches

Naast preventieve maatregelen in de organisatie is het ook aan te bevelen samenwerking te zoeken op brancheniveau of met andere instanties. Veelal hebben brancheorganisaties al het initiatief genomen om een voorbeeldpakket van mogelijk te nemen maatregelen aan te bieden, dat soms op eenvoudige wijze op maat gemaakt kan worden voor de eigen organisatie. Ook kunnen afspraken met collega-organisaties gemaakt worden over maatregelen op basis van onder andere de uitkomsten van de RI&E.

7. Medisch onderzoek

7.1 Gezondheidseffecten en beroepsziekten

Non-dysbaric hazards

Afgezien van de effecten van overdruk zijn er gezondheidsbedreigende effecten door ongevallen (o.a. vallen, beknelling, verdrinking), onderkoeling (mede afhankelijk van gebruikte ademgassen) en diverse biologische risico's (van microben, planten en dieren).

Barotraumata

Als gevolg van compressie en decompressie kan in luchthoudende lichaamsruimten een barotrauma ontstaan; longen, bijholten, het middenoor en slecht aansluitende tandvullingen zijn de bekende risicoplakten.

Squeeze

Bij het op druk brengen (compressiefase) ontstaat onderdruk in de neus, bijholten en het binnenoor. Wanneer de werker niet tijdig deze drukverschillen opheft door te klaren kan beschadiging optreden van onder andere trommelvlies; reden om niet in compressie te gaan bij een verkoudheid of met een beschadigd trommelvlies.

Arteriële gasembolie

Een (te) snelle decompressie kan een barotrauma uitlokken in de longen (pulmonaal barotrauma). Dit leidt doorgaans tot een arteriële gasembolie (luchtbel in de slagaders); in het gebied achter de embolie, kan vervolgens zuurstofgebrek ontstaan met soms ernstige gevolgen. Soms ontstaat als gevolg van het pulmonaal barotrauma, een mediastinaal emfyseem of pneumothorax ('klaplomp'); alle drie genoemde aandoeningen kunnen fataal zijn - mede omdat het tijd kost de overdrukwerker uit de overdrukruimte te brengen. Er zijn aanwijzingen dat het risico op arteriële gasembolie toeneemt wanneer de werker in de longen luchthoudende ruimtes heeft (anders dan de normale longblaasjes; cystes, blebs of bullae). Ook astma (zogenamd obstructief longlijden; vooral vormen van astma die worden uitgelokt door inspanning, emotie of kou) is - waarschijnlijk - verbonden met een verhoogd risico op arteriële gasembolie.

Decompressieziekte

Door (te snelle) decompressie ontstaat stapeling van stikstofgas in de bloedbaan en weefsels waarbij meer vethoudende en slecht doorbloede weefsels gedacht worden het meest kwetsbaar te zijn. Traditioneel wordt een onderscheid gemaakt in type 1 en type 2 decompressieziekte. Type 1 gaat gepaard met verschijnselen in gewrichten ('bends') en van de huid. Type 2 gaat gepaard met neurologische uitvalverschijnselen zoals coördinatieverlies ('staggers'), gevoelsstoornissen ('pins and needles') of zelfs bewustzijnsdaling.

Late gevolgen

Naast acute gevolgen zijn er ook - moeilijk kwantificeerbare gevolgen - van decompressieziekte. Het langdurige verrichten van arbeid onder overdruk wordt gedacht verbonden te zijn aan min of meer subtiele – en moeilijk te objectiveren – cognitieve defecten. Hiervoor is echter nog nauwelijks goed epidemiologisch onderzoek beschikbaar. Een recent leerboek geeft een goed overzicht van bekende gezondheidseffecten op de langere termijn (referentie boek: Hope A, Risberg J (eds.) Long-term health effects of diving. The Godøysund 1993 consensus conference revisited. NUI Bergen 2006. ISBN 13:978-82-7280-549-3 (302 pag).

Beroepsziekte osteonecrose

De enige duidelijke en onomstreden beroepsziekte onder overdrukwerkers is botnecrose (Engels: dysbaric osteonecrosis). Dit kan - hoewel zeer zelden - ook optreden bij werkers die nooit waren blootgesteld buiten de algemeen aanvaarde decompressietabellen en nooit symptomen van decompressieziekte hadden maar komt wel meer voor onder werkers die ooit behandeld werden voor decompressieziekte, onder hen die blootgesteld waren aan meer dan 3 bar overdruk en vooral bij het werken onder saturatiecondities. Er zijn daarentegen geen beschrijvingen van werkers met osteonecrose die binnen no-compression stop range bleven.

Blootstelling aan geluid

Onderzoek van onder andere de Koninklijke Marine geeft aan dat er bij het werken onder overdruk blootstelling aan hoge geluidsniveaus mogelijk is. Er is echter geen informatie bekend waaruit blijkt dat deze blootstelling bij werkenden onder overdruk heeft geleid tot beroepsziekten zoals die worden geregistreerd door het [Nederlands Centrum voor Beroepsziekten](#). Zie voor meer informatie over geluid het dossier [schadelijk geluid](#).

7.2 Diagnostiek en behandeling

Duikgeneeskunde

Diagnostiek en behandeling van ziektebeelden verbonden met werken onder overdruk vereist specialistische kennis en kunde die in Nederland aanwezig is bij een selecte groep medici en enkele expertisecentra ([DMC Marine](#), [EWO ArboUnie](#)).

Ongevallen

Ernstige medische complicaties zijn te verwachten na het plotseling wegvallen van de overdruk en binnentreden van water op de werkplek bij bijvoorbeeld een blow out. In Nederland zijn geen registraties van een dergelijk ongeval bekend.

Eerste hulp

De medische behandeling bestaat daarbij uit het adequaat verlenen van eerste hulp; te beginnen met het veilig stellen van luchtwegtoegang, ademhaling en circulatie. Voor ongevallen met bijna verdrinking, arteriële gasembolie en decompressieziekte bestaat de behandeling in eerste aanleg uit in veiligheid brengen van het slachtoffer en het toedienen van 100% zuurstof. Zuurstoftoediening is aangewezen ook voorafgaand aan recompressie-behandeling en dient voortgezet te worden wanneer de symptomen van (vermoede) decompressieziekte verdwenen zijn. Er bestaan cursussen waarbij aan zowel leken als artsen de juiste toedieningswijze en procedures worden onderwezen en gecertificeerd om slachtoffers van duikongevallen optimaal te kunnen bijstaan (bijv. DAN oxygen supplier).

Diagnose beroepsziekte

Voor het vaststellen van een beroepsziekte kunnen de criteria van het Nederlands Centrum voor Beroepsziekte (NCvB) worden gehanteerd. [NCvB](#).

Diagnostiek botnecrose

Botnecrose in heupen en schouders kan worden vastgesteld door middel van röntgenografie, MRI en scintigrafie. In verband met stralingbelasting gaat de voorkeur uit naar MRI. MRI en scintigrafie zijn sensitiever maar geven waarschijnlijk aanleiding tot meer vals positieve bevindingen - bij laesies die genezen zonder een necrotisch botinfarct.

Bubble load

Tegenwoordig wordt algemeen aangenomen dat alle 'natte of droge duiken' (d.w.z. compressie en decompressie met gebruik van inerte gassen) gepaard gaan met (micro)embolieën - doorgaans van stikstofgas. Embolieën zijn zelden aanleiding tot klachten of symptomen; een onder duikers veelgehoorde gelukwens is: 'may your bubbles be silent'. Spencer heeft met behulp van Dopplerechografie aangetoond dat gasbellen in het veneuze systeem optreden na iedere duik van betekenis. De grote meerderheid van de overdrukwerkers met aantoonbare gasbellen ervaart geen symptomen van decompressieziekte. Het verband tussen de mate van veneuze bellen (decompressiestress of bubble load) en symptomen van decompressieziekte is zwak. Het gebruik van Dopplerechografie voor monitoring en gradering van de waargenomen veneuze embolieën is specialistisch werk en tot nog toe niet bruikbaar in de alledaagse praktijk van duikarbeid of caissonwerk.

7.3 Kwetsbare groepen en aanstellingskeuring

Arbeidsverboden

Op grond van de artikelen 6.27 lid1 en 6.29 gelden arbeidsverboden voor respectievelijk jeugdige en zwangere werknemers voor duikarbeid, caissonarbeid en overige arbeid onder overdruk, bedoeld in artikel 6.13 van de Arbwet.

Zwangeren

Algemeen wordt door experts op dit gebied ontraden om zich bloot te stellen aan overdruk tijdens de gehele zwangerschap zie onder andere de [adviezen](#) van de Nederlandse Vereniging voor Duikgeneeskunde die ook internationaal navolging vonden. Indien een vrouw bloot is gesteld aan overdruk en achteraf reeds zwanger bleek te zijn, is er geen reden om tot zwangerschapsafbreking over te gaan.

Aanstellingskeuring

In Nederland is keuren zonder vooraf vastgelegde bijzondere functie-eisen is niet toegestaan. Voor caisson- en andere overdrukwerkers gelden uiteraard functiegebonden, strikte eisen ten aanzien van de functiegeschiktheid. Dit wordt toegelicht in de door het Ministerie van SZW uitgegeven [Leidraad Aanstellingskeuringen](#) (2005) en de NVAB leidraad [Verplichte Medische Keuringen](#) (2007); beide zijn in te zien via de website van de NVAB.

Beroepsgeschiktheid

De beoordeling van beroepsgeschiktheid voor beroepsduikers, caissonwerker en werkers in de hyperbare geneeskunde ligt in Nederland bij een selecte groep geregistreerde duikerartsen en de bespreking van dit onderwerp valt grotendeels buiten de kaders van dit dossier. Voor duikersartsen wordt onderscheid gemaakt voor hen die slechts herkeuringen mogen doen (de zogenaamde duikerarts A) en zij die tevens 'inkeuringen' mogen uitvoeren (duikerarts B). De [actuele lijsten](#) van geregistreerde duikerartsen kunnen worden geraadpleegd via het NDC.

Europese standaard

In Europees verband is met betrekking tot beroepsgeschiktheid (physical fitness to dive) een [standaard](#) opgesteld met medewerking van Nederlandse duikerartsen; dit document is direct ter inzage via internet (Fitness to dive standards; Guidelines for medical assessment of working divers. European Diving Technology Committee; J. Wendling, D. Elliot, T. Nome (eds.), maart 2003). Het document beschrijft ook criteria voor caissonwerkers.

Beoordeling

De beoordeling vindt plaats op basis van professionele bevoegdheid en bekwaamheid van de caissonwerker (caissonwerk of hyperbare geneeskunde). Veel meer dan het aflopen van een checklist is de uiteindelijke beoordeling gebaseerd te zijn op basis van een integrale beoordeling van persoon, diens gezondheidstoestand en het te verrichten werk. Zonodig zal een orgaanspecialist met duikmedische kennis worden geraadpleegd. De beoordeling van een beginnend caissonwerker is strenger dan een herbeoordeling van ervaren krachten met weinig belastend omstandigheden of veel regelmogelijkheden.

De volgende aspecten komen bij een beoordeling aan de orde:

- Is er een medisch beeld dat het vermogen om caisson te verrichten in de weg staat? (bijv. claustrofobie of neiging om onverantwoordelijk gedrag te tonen)
- Is er een medisch beeld dat de veiligheid van de werker of het team in gevaar kan brengen? (bijv. bewustzijnsverlies, paniekaanvallen etc.)
- Is er een medisch beeld dat kan verslechteren a.g.v. duikarbeid? (bijv. status na pneumothorax met dus een verhoogde kans op pulmonaal barotrauma)
- Is er een medisch toestandsbeeld dat - bewezen - de kans vergroot op decompressieziekte of beroepsziekte? (bijv. PFO na voorafgaande symptomen van decompressieziekte)

PFO

Er is wel gesuggereerd dat het bestaan van een zgn. patent foramen ovale een rol speelt bij de gevoeligheid voor decompressieziekte; bij deze toestand kunnen embolieën 'gebypassed' vanuit de rechter naar de linkerboezem en zo in het arteriële systeem komen. PFO heeft een geschatte prevalentie van 30% maar een veel kleiner percentage wordt geacht hemodynamisch relevant te zijn - d.w.z. werkelijk verantwoordelijk voor verschijnselen van decompressieziekte. Onderzoek naar het bestaan van (een relevant) PFO wordt daarom alleen aanbevolen bij caissonwerkers die een decompressieziekte doormaakten.

Longaandoeningen

Bestaande longaandoeningen of een medische geschiedenis met spontane pneumothorax of penetrerend letsel van de borstholte zijn reden voor uitsluiting van duikarbeid en caissonwerk in verband met verhoogde risico van een pulmonaal barotrauma. Wanneer de medische geschiedenis geen pneumothorax, letsel van de borstholte, actieve sarcoïdose, tuberculose, COPD of astma uitlokt door kou, emotie of inspanning vermeldt, dan is de betreffende werknemer waarschijnlijk geschikt - zelfs bij medicatiegebruik of voorafgaande ademhalingsklachten èn mits ook longfunctiemetingen en röntgenografie geen afwijkingen (bijv. blebs) tonen.

Screening botnecrose

Tekenen van botnecrose vormen op zich geen reden voor uitsluiting. Het advies te stoppen met caissonwerkers met necrotische afwijkingen dichtbij een gewricht (juxta-articulair) is gebaseerd op de hoge belastingen die de kans op inzakken van het gewricht vergroot. Beeldvormend onderzoek van schouders en heupen wordt aanbevolen bij alle caissonwerkers aan het begin van hun beroeps carrière. Routinematige controles worden ook aanbevolen bij degenen die regelmatig worden blootgesteld aan drukken groter dan 3 bar G of werkers die gedurende meer dan 4 uren zijn blootgesteld aan overdruk (saturatiewerkers). Aanvullend onderzoek naar botnecrose kan worden overwogen bij werknemers met klachten van een gewricht of zij die decompressieziekte hadden.

7.4 Preventief medisch onderzoek

Preventief onderzoek

Het preventief medisch onderzoek: PMO; de nieuwe term voor het gemoderniseerde PAGO, is een vrijwillig arbeidsgezondheidskundig onderzoek zoals bedoeld in artikel 18 van de Arbowet en diverse bepalingen van het Arbobesluit. Voor caissonwerkers echter, omvat het PMO in ieder geval ook het *verplichte* duikmedisch onderzoek waaraan de werknemer zich **moet** onderwerpen op grond van wet- en regelgeving buiten de Arbowet.

Het [preventief medisch onderzoek](#) kent drie kerndoelen:

1. preventie van beroepsziekten en arbeidsgebonden aandoeningen bij individuele en groepen werknemers
2. bewaken en bevorderen van de gezondheid van individuele en groepen werknemers in het werk
3. bewaken en verbeteren van het functioneren en de inzetbaarheid van individuele werknemers.

8. Werkgeversverplichtingen

Voor meer algemene informatie over dit onderwerp klik [hier](#).

De werkgeversverplichtingen komen voort uit wetgeving (Zie hoofdstuk 6). Kortweg dient de werkgever beleid te voeren waarbij werkdruk en beheersmaatregelen in ieder geval terugkomen in de RI&E en in voorlichting & onderricht.

9. Werknemersverplichtingen

Voor meer algemene informatie over dit onderwerp klik [hier](#).

De werknemer is verplicht zich als een 'goed werknemer' te gedragen. Wat dat inhoudt, staat niet omschreven. Het betekent bijvoorbeeld dat u zich moet houden aan de werkvoorschriften van de werkgever en dat u verplicht bent mee te werken aan uw re-integratie.

10. Werknemersrechten

Voor meer algemene informatie over dit onderwerp klik [hier](#).

10.1 Rechten individuele werknemer

Voor meer algemene informatie over dit onderwerp klik [hier](#).

10.2 Rechten medezeggenschapsorgaan

Voor meer algemene informatie over dit onderwerp klik [hier](#).

11. Praktijkverhalen

Voor het werken onder hyperbare condities zijn verschillende goede praktijken gepubliceerd. Onderstaand links naar een aantal van deze praktijken.

Door het [European Committee for Hyperbaric Medicine](#) is een European Code of Good Practice uitgebracht. In deze publicatie wordt uitgebreid stilgestaan bij de veiligheids- en gezondheidsaspecten van het werken in hyperbare centra. Klik [hier](#) voor de Code of Good Practice.

Door het European Committee for Hyperbaric Medicine (ECHM) en het European Diving Technology Committee (EDTC) is een standaard opgesteld. Deze standaard bevat richtlijnen voor de training van professionals die werkzaam zijn in hyperbare centra. Klik [hier](#) voor de standaard.

Door de European Baromedical Association (EBASS) worden periodiek publicaties uitgegeven met beschrijvingen van of verwijzingen naar goede praktijken. Klik [hier](#) voor de website van de EBASS.

12. Referenties

Molvaer O. I. (Norwegian Underwater Institute, Norway) and Gjestland T. (University of Trondheim, Norway). Hearing damage risk to divers operating noisy tools under water Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, December 1981, Volume 7, Number 4.

Curley, M. Downs, E., Jr. Navy Experimental Diving Unit, Helmet Noise and Divers' Hearing, Panama City, FL, USA in OCEANS Publication Date: Sep 1986 Volume: 18, On page(s): 53- 56

Hope A, Risberg J (eds.) Long-term health effects of diving. The Godoyssund 1993 consensus conference revisited. NUI Bergen 2006. ISBN 13:978-82-7280-549-3 (302 pages)

Elliot DH, Moon RE. Long-term health effects of diving. In: Elliot D, editor. The Physiology &

Medicine of Diving. London: W B Saunders Company Ltd, 1993: 585-604.

Bennett and Elliot's Physiology and Medicine of Diving. Fifth ed. London: Saunders, 2003.

Arbeidsomstandigheden bij het boren van tunnels in Nederland, Stichting Arbouw en Centrum Ondergronds Bouwen, augustus 2000

13. Referentie auteur

Helger Siegert (veiligheidskundige)
Joost Kam (arbeids- en organisatiedeskundige)
Richard Huisman (arbeidshygiënist)
Arco Verhoeven (bedrijfsarts)

14. Peer review

Dit arbodossier is beoordeeld door:
Ben van de Putten ArboUnie
Tjeerd van Rees Vellinga ArboUnie