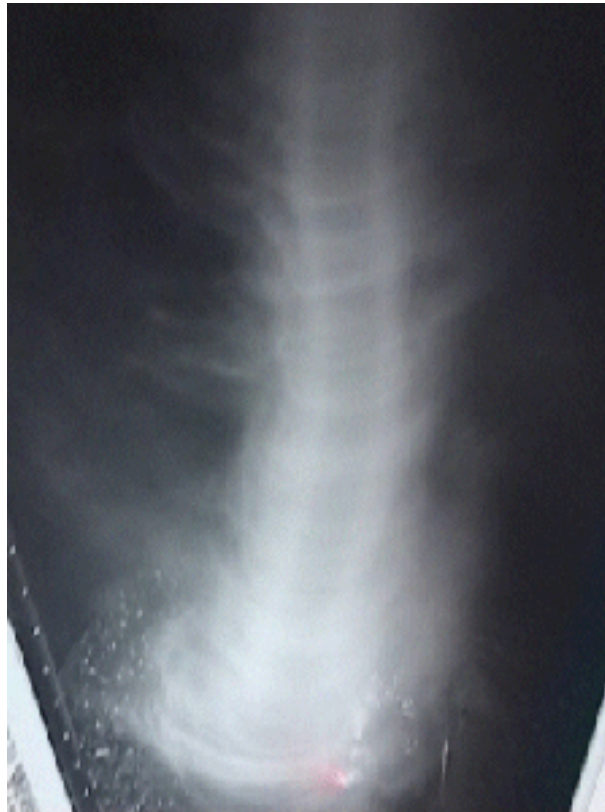


# Constructie van een tornado generator

voor in de woonkamer



Harald E. Edens  
M.S. Natuurkunde

[www.weather-photography.com](http://www.weather-photography.com)

29 maart 2003

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Auteursrecht en aansprakelijkheid</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Introductie</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Werkingsprincipe</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Benodigdheden</b>	<b>6</b>
4.1	Materiaal . . . . .	6
4.2	Gereedschap . . . . .	6
4.3	Beschrijving van materialen . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Constructie</b>	<b>10</b>
5.1	Zagen van de houten schijven en ondersteuningsblokken . . . . .	11
5.2	Maken van de onderste plexiglazen schijf . . . . .	11
5.3	Maken van de bovenste plexiglazen schijf . . . . .	12
5.4	Snijden van de PVC plaat . . . . .	14
5.5	Maken van de bovenste en onderste compartimenten . . . . .	14
5.6	Gereedmaken van de PVC buis . . . . .	15
5.7	Montage . . . . .	16
5.8	Schilderen . . . . .	18
5.9	Bevestigen van de aluminium strips . . . . .	20
<b>6</b>	<b>Overige installatie</b>	<b>22</b>
6.1	Installatie van de ventilator en de luchtkanalen . . . . .	22
6.2	Installatie van de mistgenerator . . . . .	23
6.3	Installatie van de verlichting . . . . .	24
<b>7</b>	<b>Afwerking</b>	<b>25</b>
<b>8</b>	<b>Aanpassing van de dimensies</b>	<b>27</b>
<b>9</b>	<b>Opstarten van de generator</b>	<b>28</b>
9.1	Tips voor gebruik . . . . .	28
9.2	Oplossen van problemen . . . . .	29
<b>10</b>	<b>Foto's</b>	<b>31</b>

# 1 Auteursrecht en aansprakelijkheid

Alle tekst, ideeën, figuren en foto's in dit document zijn copyright van de auteur, Harald E. Edens. Niets van dit document mag worden verveelvoudigd zonder mijn uitdrukkelijke toestemming, in welke vorm of medium dan ook, en mag alleen worden uitgeprint voor Uw eigen persoonlijke, niet-commerciële documentatie.

De auteur is niet verantwoordelijk voor enige schade of persoonlijk letsel/overlijden tijdens het bouwen of gebruiken van deze machine. Deze bouwhandleiding is ter beschikking gesteld in deze vorm, en eenieder die de machine bouwt of gebruikt behoort zelf op de hoogte te zijn van en juist te handelen op mogelijke gevaarlijke situaties die kunnen ontstaan bij de constructie en het gebruik van de machine. Gevaarlijke situaties kunnen bijvoorbeeld zijn: elektrische schok, gebruik van mechanisch gereedschap, kortsluiting, en brand. Kinderen of andere personen die fysiek of mentaal gelimiteerd zijn in het gebruik van gereedschap moeten dit project niet uitvoeren tenzij zij geholpen worden door een persoon die dit wel kan.

Met het downloaden of op andere wijze verkrijgen van dit document stemt U toe met het hierboven geschrevene en zult de auteur niet aansprakelijk stellen voor welk probleem of ongeval dan ook dat volgt uit dit project, en stemt toe dat U dit document alleen zult gebruiken voor Uw persoonlijke bouwproject. Voor elk ander gebruik behoort U eerst toestemming te vragen van de auteur. Het emailadres is [edens@weather-photography.com](mailto:edens@weather-photography.com), of bezoek de website [www.weather-photography.com](http://www.weather-photography.com).

## 2 Introductie

In de zomer van 1998 ging ik naar Parijs voor een vakantie. Daar bezocht ik het La Cité museum, waar een 1 meter hoge tornado generator opgesteld stond. Ik was gefascineerd door de prachtige tornado, en het open ontwerp van de machine: ik kon zo m'n hand in de machine steken en de vortex aanraken.

Een paar weken later was ik weer thuis, ontwierp mijn eigen generator en bouwde het geval. Ook deze had een open voorkant. Toen ik de machine werkend kreeg, was de tornado net zo mooi als degene die ik in Parijs had gezien. Hieronder volgt een beschrijving van mijn ontwerp, zodat U er zelf een kunt bouwen, en versteld zult staan van de tornado. Het ontwerp kan ook gebruikt worden voor onderzoeksdoeleinden.

De tornado is ongeveer 0,9m hoog indien volledig ontwikkeld. Het ontwerp maakt gebruik van een variabele ventilator, zodat de generator de vorm van de F1 tot F3 schaal van realistische tornado's kan produceren. Bij erg laag ventilator-vermogen is de tornado zeer dun, als een koord, haast onbeweeglijk zich omhoog kronkelend naar de ventilator. Bij hoog vermogen is de tornado een turbulente vortex van ca. 10 cm in diameter.

De kosten voor het bouwen van de generator zijn ongeveer € 140, voornamelijk wegens de dure mistgenerator (€ 80), de ventilator (€ 20) en de voeding voor de ventilator (€ 20). De meeste van de materialen zullen wellicht bij U in de garage liggen. U kunt de generator eerst bouwen, zonder vooraf de mistgenerator aan te schaffen. Een eventuele tornado is dan niet zichtbaar, maar deze kunt U tijdelijk zichtbaar maken met rook of soldeer-dampen. Als alles goed werkt kunt U uiteindelijk de dure mistgenerator aanschaffen.

In dit document veronderstel ik dat U enige basiskennis heeft wat betreft handwerken, zoals zagen, schroeven, snijden, solderen enz. Het is belangrijk om nauwkeurig te werken om alles goed passend en netjes te krijgen—het is een relatief duur project, en de generator is een groot object, dus U wilt een en ander er goed uit laten zien zodat de generator eventueel in de woonkamer of waar ook opgesteld kan worden.

### 3 Werkingsprincipe

Een tornado bestaat uit een lagedrukkern, waaromheen lucht circuleert. De kracht van een tornado hangt o.a. af van de druk in de kern: hoe lager de druk, des te sneller zal lucht om de kern heen draaien. In een echte tornado circuleert de lucht meestal met snelheden variërend tussen 100 km/u tot meer dan 500 km/u. De (vernietigings)kracht van een tornado wordt aangeduid d.m.v. de Fujita-schaal F1 t/m F5. Hoe hoger het F-nummer, hoe vernietigender de tornado is. Een F1-tornado is in staat om caravans om te kiepen en bomen te ontwortelen; F2...F4 zijn zwaarder, terwijl een F5-tornado letterlijk totale verwoesting achterlaat.

Om een tornado op schaal te simuleren, moet lucht rondgecirculeerd worden terwijl lucht afgezogen wordt aan de top van deze circulatie, om een lagedrukkern te realiseren. Omdat de draaiimpuls van de luchtmassa behouden is, stroomt de lucht niet direct naar de lagedrukkern, maar blijft ronddraaien. Dit is in het ideale geval, zonder wrijving - maar zelfs in het algemene geval is de wrijving gering. Zodoende wil de luchtmassa eigenlijk naar de lagedruk stromen, maar de draaiimpuls is behouden, zodat de lucht rond blijft draaien, sneller en sneller totdat evenwicht is bereikt tussen luchtwrijving en drukgradient-kracht.

In een echte tornado wordt draaiing tot stand gebracht door middel van de Coriolis-kracht (wegens de draaiing van de aarde); voor een tornado op schaal is dit effect echter verwaarloosbaar klein.

Ik heb dit principe van circulerende lucht en lagedrukkern gebruikt voor mijn generator ontwerp. Andere ontwerpen die ik heb gezien bestaan uit een behuizing met een ventilator in de top, en tangentiële luchtspleten, zodat lucht passief en tangentieel naar binnen stroomt en zo draaiing induceert. Dit ontwerp is goed, maar de box moet verder afgesloten zijn, en zodoende moet men door een venster kijken naar de tornado.

Dit ontwerp is een open generator, een cylinder ongeveer 40 cm dik met een opening van 0,3 bij 0,8 meter. Omdat dit open venster meteen lucht binnenlaat, recht naar lage druk, zal zo nooit een tornado ontstaan - dus moet actief de lucht rondgecirculeerd worden. Dit heb ik gedaan door de ventilator niet alleen voor afzuiging te gebruiken, maar ook voor "aanblazen" van lucht, op tangentiële manier, door middel van een geperforeerde PVC buis die vertikaal aan de binnenkant tegen de wand van de generator bevestigd is. Een rij gaten in de buis wijst precies naar de grote opening aan de voorkant van de generator, zodat enige lucht die naar binnen wil stromen, afgebogen wordt. Behoud van draaiimpuls doet de rest - en een tornado ontstaat. Voor diegenen die hieraan twijfelen: ik heb het gebouwd en het werkt zeer goed, zelfs wanneer ik m'n handen bij de tornado houd.

## 4 Benodigdheden

### 4.1 Materiaal

Voor de bouw van de generator heb ik het volgende gebruikt:

- 2 multiplex of MDF schijven, 18mm dik, 400mm diameter;
- 2 plexiglas schijven, 2mm dik, 400mm diameter (NIET deze snijden - nog);
- 16 houten blokken, lengte 150mm, 18mm x 60mm doorsnede;
- 1 PVC plaat, 1200mm × 1000mm, 1mm dik;
- 1 PVC plaat, 300mm × 175mm, 1mm dik;
- 1 PVC plaat, 300mm × 250mm, 1mm dik;
- 1 (radiale) ventilator, kracht vergelijkbaar met die van een stofzuiger;
- 1 voeding voor ventilator (indien nodig - afhankelijk van het soort ventilator);
- 1 toerenregelaar voor de ventilator;
- 1 mistgenerator;
- 1 PVC pijp, lengte 1000mm, 32mm dik;
- Ca. 30 bolkopschroeven, 30mm - 40mm lang, met bijpassende ringen;
- 16 platkopschroeven, 30mm - 40mm lang;
- 8 kleine popnagels (ca. 4mm diameter);
- 2 aluminium strips, 2mm × 10mm doorsnede, lengte 1200mm;
- Hoogglans verf (computer grijs o.i.d.) voor de buitenkant van de generator;
- Zijdemat zwarte verf voor het interieur;
- Een kleine (laag-wattage) gloeilamp of TL-buis, bij voorkeur gekleurd licht (optioneel);
- Siliconenkit (bij voorkeur zwart).

### 4.2 Gereedschap

U zult het volgende nodig hebben om de generator samen te stellen:

- Warmelucht-blazer (kaliber verfafbrander);
- Hete-lijmpistool + lijm;
- Decoupeerzaag of handzaag;

- Boormachine met set boren;
- Scherp mes om PVC plaat te versnijden;
- Schroevendraaiers;
- Schuurpapier of schuurmachine;
- Popnageltang;
- 30mm ronde vorm (leeg verfblik o.i.d.);
- 75mm ronde vorm;
- 100mm ronde vorm;
- Lange lineaal of rechte balk, lengte  $> 1200\text{mm}$ .

### 4.3 Beschrijving van materialen

- *Multiplex of MDF schijven* vormen de top en de bodem van de generator behuizing. Ik raad aan om MDF te gebruiken, want dat is gemakkelijk te bewerken en heeft een goede finish. Multiplex is iets moeilijker waterdicht en glad te schilderen en kan bovendien enigszins verbuigen wegens vocht.
- *Plexiglas schijven* voor de top en bodem van het generator-interieur. Snijd deze nog niet uit het plexiglas - de schijven moeten vervormd worden met een heteluchtblazer en dat is vrijwel onmogelijk om netjes te doen wanneer de schijven op maat zijn gesneden.
- *Houten ondersteuningsblokken* komen tussen de houten en plexiglasen schijven. De blokken moeten allemaal redelijk dezelfde lengte hebben. Andere afwijkingen in de grootte van deze blokken zijn niet erg van belang, omdat de blokken niet zichtbaar zijn wanneer de generator af is.
- *PVC plaat* vormt de buitenkant van de generator. Gebruik een sterk PVC hiervoor: Het moet een groot deel van het gewicht van de generator dragen. De DHZ markt heeft PVC plaat in rolvorm. Kies de dikkere variant uit, ca. 1mm dik. Gebruik hiervoor geen plexiglas! Het zal vrijwel zeker breken tijdens montage, en zoniet, dan blijft het lange tijd onder druk staan, mogelijk resulterend in een uit elkaar spattende generator op een later moment.
- *Radiale ventilator* - kies een radiaal type, dit is zeer belangrijk. Deze hebben een bruikbare luchtinlaat en -uitlaat. Standaard koelingsventilatoren zoals U bijvoorbeeld in de voeding van uw computer vindt, zijn van het axiale type, en deze zijn totaal niet geschikt voor dit ontwerp. Een radiale ventilator heeft 1 luchtinlaat en 1 luchtuitlaat. Zo'n ventilator kan zeer compact en gemakkelijk in de generator ingebouwd worden en aangesloten zonder al te veel gedoe met luchtkanalen enz. Daarnaast zijn radiale ventilatoren meer in staat om lucht te blazen onder druk, dan axiale ventilatoren, wat bij dit ontwerp een cruciale factor is. De ventilator mag ongeveer zo krachtig zijn als een stofzuiger, of eventueel iets minder. Probeer een ventilator te vinden die werkt op het lichtnet, 230 Volt wisselspanning. In dat geval hoeft U alleen nog een goedkope regelbare transformator aan te schaffen om het vermogen te variëren, en bespaart U de kosten van zowel de ventilatorvoeding als de toerenregelaar. Ook belangrijk: de ventilator moet niet teveel lawaai maken, dat is storend.

De ventilator die ik gebruikte (geen productaanbeveling) is/was verkrijgbaar bij Conrad Electronics ([www.conrad.nl](http://www.conrad.nl)), zoek op bestelnummer 570095. De radiale ventilator wordt gevoed met 12V DC en kost ca. € 25.

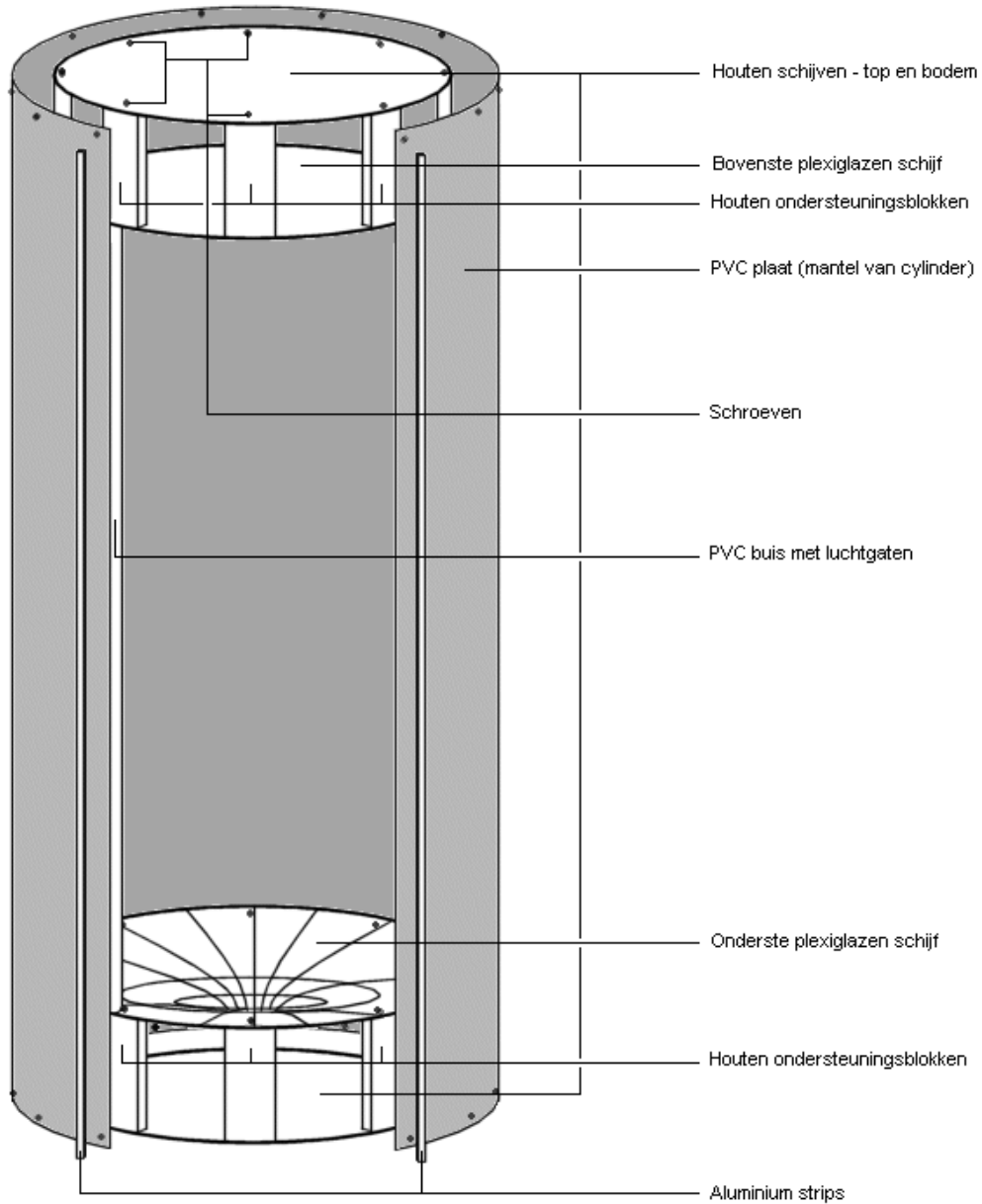
- *Voeding* indien de ventilator gelijkspanning is, of anderszins anders gevoed moet worden dan met het lichtnet. De ventilator die ik aanvankelijk gebruikte liep op 12 VDC (DC = gelijkspanning) bij 3,5 A (maximaal), dus ik gebruikte een 30 VDC / 4 A regelbare voeding.
- *Toerentalregelaar* Om de snelheid van de ventilator te regelen, indien U gebruik maakt van een vaste spanningsbron. Een regelbare spanningsbron is zeer aan te raden. Toerenregelaars zijn te koop als bouwpakketten om zelf samen te stellen (solderen), en als reeds opgebouwde units. Kosten zijn ca. € 10 tot € 30. Als uw ventilator op het lichtnet aangesloten moet worden (eventueel met hulpcondensator), gebruikt U een regelbare transformator als toerenregelaar, vaak aangeduid onder de naam Variac<sup>TM</sup>.
- *Mist generator* dient ervoor de tornado zichtbaar te maken. Ik heb de tornado generator ontworpen voor een speciaal soort mini-mistgenerator, voor artistieke doeleinden (dat is gelukt!). De generator is ongeveer 40mm dik en 30mm hoog, en dient volledig in water ondergedompeld te worden. Het is een ultrasone mistgenerator. Ze zijn o.a. te koop bij Conrad Electronics ([www.conrad.nl](http://www.conrad.nl)), zoek op bestelnummer 570990 (geen productaanbeveling). Eventueel kunt U ook een gewone ultrasoon-luchtbevochtiger gebruiken, maar deze dienen eerst aangepast te worden op constante mistproductie, en ze zijn vrij groot. Als U toch zoiets wilt gebruiken, of bijvoorbeeld een party-rookmachine (vrij duur en smerig in het gebruik) lees dan de sectie “aanpassingen in dimensies” door (zie hieronder). Weet van te voren welk soort mistgenerator U gaat gebruiken, want aanpassingen naderhand zijn lastig, en laten sporen achter.
- *PVC buis* om door het venster binnenstromende lucht opzij te blazen, om de luchtcirculatie te starten / in stand te houden. Ik gebruikte een dikwandige (3mm) PVC buis, 32mm doorsnede, maar dunwandig kan ook en is beter, als U zoiets kan vinden.
- *Schroeven en ringen* voor het monteren van de houten blokken op de houten en plexiglazen schijven, en het monteren van de PVC plaat (de mantel van de cylinder), en tevens de aluminium strips op de houten schijven. Voor hout-op-hout gebruikt U spaanplaatschroeven, voor de rest bolkop-schroeven met ringen, ca. 20 tot 30 mm lang.
- *Popnagels* om de aluminium strips op de PVC plaat vast te zetten. Dit kan ook met smeltlijm, maar dat heeft de neiging om los te laten na verloop van tijd. Paperclips werken ook maar zien er niet zo fraai uit.
- *Aluminium strips* om de rand van de PVC plaat te verstevigen (ter voorkoming van kromtrekken van de plaat). De strips lopen vertikaal langs de gehele lengte van de generator.
- *Hoogglans verf* voor het afwerken van de PVC plaat - deze is meestal doorzichtig, en dat ziet er niet uit zonder verf.
- *Zijdemat zwarte verf* om het inwendige van de generator zwart te schilderen. Dit verhoogt het contrast met de lichtgrijzige tornado. Gebruik geen hoogglans verf hiervoor - dat reflecteert teveel licht. Matte verf is beter, maar dat neemt veel stof op na verloop van tijd en wordt daardoor groezelig.



- *Kleine lamp* welke in het ventilator-compartiment wordt ondergebracht. Het licht verlicht de tornado van de boven/achterkant, zodat deze nog beter zichtbaar wordt. Gekleurd licht geeft een geweldig effect samen met de tornado!

## 5 Constructie

Een schematische opengewerkte tekening van de generator is geschetst in figuur 1.



Figuur 1: Opengewerkte tekening van de generator.

## 5.1 Zagen van de houten schijven en ondersteuningsblokken

Met passer, teken twee cirkels, 400mm in diameter, op het hout, en zaag de cirkels uit. Let erop dat de schijven vrijwel precies rond zijn; elke onregelmatigheid op de rand zal later zichtbaar zijn wanneer de generator klaar is. Zaag vervolgens een concentrische schijf, 300mm in diameter, uit een van de schijven. Dit fungeert later als een soort luik voor het ventilator compartiment. Schuur de houten schijven en leg ze terzijde. Bewaar het hout waar de schijven uit gezaagd zijn - de ronde gaten hierin gebruikt U straks als matrijs voor het vervormen van de plexiglas platen.

Zaag vervolgens 16 houten ondersteuningsblokken op lengte en schuur ze. Controleer dat ze alle 16 min of meer dezelfde lengte hebben - variaties van ca. 2 mm zijn in orde, maar veel meer moet het niet zijn.

## 5.2 Maken van de onderste plexiglazen schijf

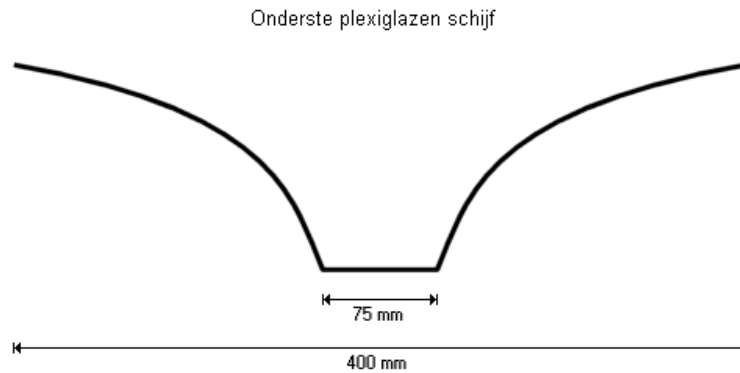
*Tip: indien U haast heeft (wie heeft geen haast om de generator te zien werken?), sla dan de stap van het verhitten en vervormen van de plexiglazen schijven, over, en gebruik vlakke schijven. De vorm van de onderste schijf dient ervoor om condenswater terug te laten vloeien naar het bassin, zodat de generator niet langzaamaan doorweekt raakt. De vorm van de bovenste schijf helpt om de bovenkant van de tornado stabiel te maken. De tornado wordt niet veel beïnvloed, wanneer U vlakke schijven gebruikt, en het scheelt werk.*

Neem de plaat plexiglas waar U de schijven uit gaat zagen, en leg deze over de houten plaat waar de houten schijven uit waren gezaagd. Klem de beide platen voorzichtig vast op elkaar met lijmklemmen (gebruik hiervoor extra blokken om de klemkracht over een groter plexiglas oppervlak te verdelen - anders kan het barsten, zeker een 2mm dunne plaat plexiglas). Ondersteun de twee platen met boeken of iets dergelijks, zodat de platen ca. 20 cm boven de werktafel gepositioneerd zijn.

Met een permanent-marker tekent U een cirkel op de onderkant van het plexiglas, waarbij U eenvoudig het houten gat als vorm gebruikt. Vervolgens markeert U het centrum van de cirkel met een lineaal, 1 keer meten en markeren, lineaal 90 graden draaien en nogmaals meten en markeren, er staat dan een kruis dat het centrum markeert.

Neem de 75mm ronde vorm (ik gebruikte hiervoor een leeg verfblik, met gladde rand), neem de warmeluchtblazer, en stel deze in op een temperatuur van ca. 650 C (de blazer moet warm genoeg kunnen worden om een stukje hout aan het smeulen te krijgen, op korte afstand). Verwarm nu de cirkel van het plexiglas, beginnend bij het midden en spiraliserend naar de randen en weer terug, enz. Kijk uit dat U de blazer niet te lang stil houdt, er ontstaat anders een "hot-spot". Pas ook op dat het plexiglas geen bellen gaat vormen, enige tekenen hiervan zijn O.K., dat betekent dat het plexiglas heet genoeg wordt, maar veel heter moet het niet worden. Afhankelijk van de manier van opwarmen en de warmeluchtblazer, kan het 5 of meer minuten duren voordat de plexiglazen schijf voldoende is opgewarmd. Verwarm niet teveel de randen, bij het hout. Het plexiglas moet bij het centrum het warmst worden.

Stop het verwarmen, pak als de bliksem de ronde vorm, positioneer deze over het midden van de schijf, en druk de vorm naar beneden voor ongeveer 10 tot 12 cm, dat is niet kritisch. Als het plexiglas juist verwarmd was, ziet U de vorm ontstaan zoals weergegeven in figuur 2. Houd nu



Figuur 2: Doorsnede van de onderste plexiglazen schijf. De kromming dient ervoor om een waterbasin voor de mistgenerator te maken, en om spatwater terug te laten vloeien naar het basin.

de vorm zo vast, zo goed mogelijk horizontaal, en wacht minimaal 5 minuten in deze positie tot het plexiglas afgekoeld is.

Indien U niet in staat bent om het plexiglas diep genoeg in te drukken met de vorm, moet U extra verhitten. Pas op dat er geen gaten komen door de hitte, dit wordt de onderste plexiglazen schijf die het waterbasin voor de mistgenerator moet bevatten.

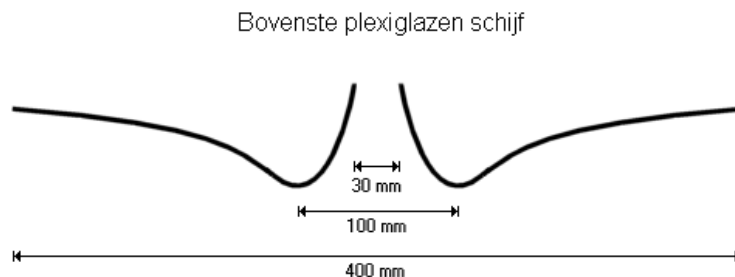
Verwijder de klemmen, en zaag - met engelengeduld - de plexiglazen vorm langs de cirkellijn uit. Wees niet haastig hierin, want voor U het weet barst het glas en moet U opnieuw beginnen. Zaag met een snelheid van hooguit 5 mm per seconde. Zaag ook niet te langzaam, want het plexiglas wordt heet en gaat aan de zaag kleven als U te langzaam zaagt. Het beste is om het zagen eerst even uit te proberen op een stukje plexiglas.

Schuur de schijf en leg het terzijde op een veilige plaats.

### 5.3 Maken van de bovenste plexiglazen schijf

Voor deze schijf gaat U precies zo te werk als U zojuist deed voor de onderste schijf, maar dit keer, na het verwarmen, neemt U de 100mm ronde vorm en drukt U deze voor slechts ca. 50mm diep in het plexiglas. Nadat het afgekoeld is, moet U de gehele plexiglazen plaat omkeren, en de achterkant verwarmen, maar nu *alleen binnenin* het 100mm vlakke glas bij het centrum. Dit verdient zeker enige aandacht, om zeer gelijkmatig dit kleine gebied te verwarmen. Vervolgens neemt U de 30mm ronde vorm, en drukt U deze 7 tot 9 cm naar beneden, om de vorm te verkrijgen zoals weergegeven in figuur 3. Het is goed mogelijk dat U dit in meerdere stappen moet doen, het verwarmen en stempelen, omdat deze vorm vrij lastig en steil is voor het plexiglas. Dit keer is het geen ramp als er (kleine) gaten vallen in het centrum, want dit wordt later toch opengezaagd voor de luchtafvoer. Maak er ook geen moordkuil van als de vorm er niet precies zo uit ziet als weergegeven.

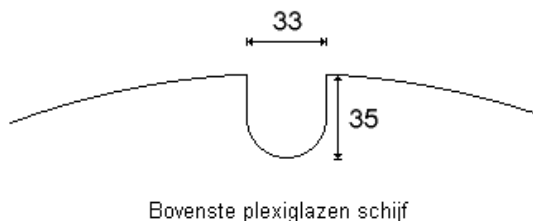
Zaag ook deze vorm uit het plexiglas en schuur het. Neem een 6mm boor (geen houtboor met platte bladen gebruiken!) en boor zeer voorzichtig door het glas heen in het centrum - neem de tijd, want het glas is op deze plaats misschien een fractie van een millimeter dik en dit barst heel



Figuur 3: Doorsnede van de bovenste plexiglazen schijf. De vorm helpt bij het maken van onstabiele golfelingen in de vortex wegens de langzaam naar binnen bewegende lucht langs het oppervlak van de plexiglazen schijf (door wrijving). De golfelingen maken de vortex mooier voor het zicht. Ook dient de vorm om het centrale gat en het einde van de vortex van het zicht te ontnemen.

gemakkelijk. Het kost nog veel meer tijd om een nieuwe vorm te maken als het fout begint te gaan. Neem vervolgens een ronde vijl, en vijl eveneens voorzichtig het gat uit tot dit ca. 30 mm in diameter is. Groter mag ook, en is beter, indien de luchtinlaat van Uw ventilator veel groter is. De luchtinlaat van mijn ventilator was 75mm diameter, en ik heb uiteindelijk een gat in het plexiglas gevijld van ca. 60mm diameter.

Uiteindelijk markeert U en zaagt U de inkeping uit voor de PVC pijp zoals weergegeven in figuur 4. De grootte van dit gat moet de diameter van de buis zijn plus 1 mm, in de breedte; en de diameter plus 3 mm, in de lengte. Deze extra speling vergemakkelijkt de installatie van de buis wanneer de generator samengesteld is. De buis kan namelijk later niet recht in het gat gezet worden, maar onder een hoek. Als de PVC buis die U gebruikt niet 32 mm in diameter is, past U de maten naar rato aan. NB: het op maat krijgen van de inkeping kunt U het beste doen met



Figuur 4: Inkeping in de bovenste plexiglazen schijf, voor de PVC buis.

een vijl, langzaam, het duurt even voordat het gat uitgevijld is maar als U een zaag gebruikt kan het plexiglas eveneens barsten. Indien dat gebeurt, kunt U het repareren met secondenlijm.

Probeer nu netjes te zijn en ruim alle rommel op (zaagstof en plexiglas rafels enz.). Vooral de plexiglas zaagsels zijn scherp en ongezond (ik kreeg zo'n stukje in mijn oog tijdens het zagen van het plexiglas - dit veroorzaakte veel pijn. Gebruik een bril (en stofmasker) of iets dergelijks wanneer U plexiglas zaagt!).

## 5.4 Snijden van de PVC plaat

De PVC plaat wordt meestal verkocht per meter vanaf een rol. Deze rol is (in mijn geval) ongeveer 1 meter breed, wat juist genoeg is voor de gedeeltelijke omtrek van de generator. Het venster van de generator moet ongeveer  $1/5$  van de omtrek zijn, dus voor een generator 400mm in diameter is de omtrek 1257mm, en het gedeelte dat beplaat moet worden is zodoende  $4/5 \times 1257 = 1005$ mm. Het maakt niet heel veel uit hoe groot het venster wordt, als het maar niet groter wordt dan ongeveer  $1/5$  deel van de omtrek - anders zal enige tornado, indien deze al tot ontwikkeling komt, zeer onstabiel kunnen zijn.

Leg de PVC plaat uitgespreid neer op een vlakke ondergrond (neem een ondergrond waarin snijsporen mogen komen). Met een permanent-marker tekent U een  $1200\text{mm} \times 1000\text{mm}$  rechthoek op de plaat. Wees er zeker van dat de hoeken recht zijn - dit kunt U controleren door beide diagonalen te meten, en minimaal 1 hoek: wanneer de diagonalen gelijk zijn en 1 hoek is loodrecht, dan zijn alle hoeken recht.

Neem vervolgens de lange stalen lineaal of metalen balk als geleider, en snijd met een scherp mes de rechthoek uit, ervoor oppassend dat het mes geen zogenaamde excursie maakt ergens anders heen (knie of vinger of iets dergelijks), en ook dat de metalen balk niet ineens gaat draaien of glijden. In principe is slechts 1 gedeeltelijke snede voldoende, wanneer U de plaat langs de snede buigt breekt het materiaal netjes hierlangs af. Schuur de gesneden randen.

Vervolgens snijdt U nog twee rechthoeken uit, en schuurt deze:  $300\text{mm} \times 175\text{mm}$  en  $300\text{mm} \times 250\text{mm}$ .

## 5.5 Maken van de bovenste en onderste compartimenten

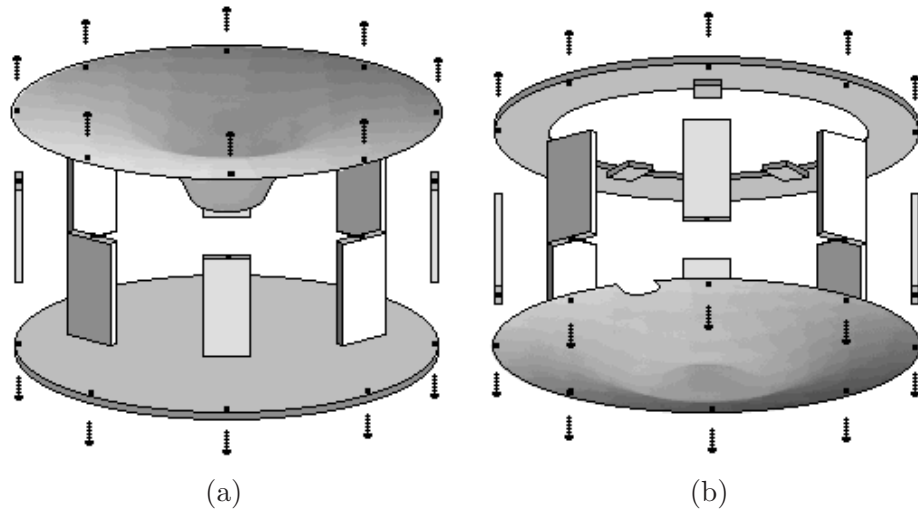
Neem de twee houten schijven, de houten ring, de twee plexiglazen schijven en de 16 houten blokken. Boor schroefgaten voor langs de randen van de plexiglazen schijven en de houten blokken, zie figuur 5a en 5b. Indien de blokken 18mm dik zijn boort U bijvoorbeeld gaten 9 tot 10 mm vanaf de randen van de schijven.

Van afvalmateriaal vervaardigt U drie kleine houten blokken en monteert deze gedeeltelijk over de binnenste rand van de houten ring. Deze fungeren als sloten ter ondersteuning voor de binnenste schijf (het luik). Zie ook weer figuur 5a. Vergeet deze stap niet (zoals ik); het is vrijwel onmogelijk om dit naderhand te doen, wanneer de compartimenten samengesteld zijn (met gebruik van schroeven in ieder geval, hetgeen steviger is dan lijm).

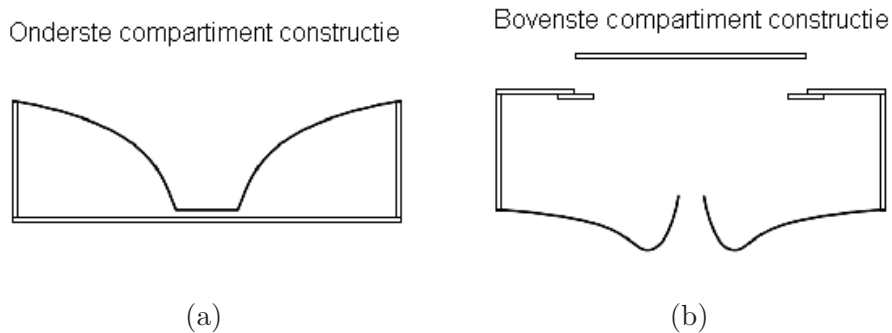
Met de schroeven assembleert U het bovenste en onderste compartiment als aangegeven in de figuren 5a en 5b. Let op dat U de juiste houten schijf met de juiste plexiglazen schijf combineert: de plexiglazen schijf met de inkeping voor de PVC pijp dient samen gemonteerd te worden met de houten ring. Let ook op de juiste orientatie van de plexiglazen schijven - zie figuur 6a en 6b voor dwarsdoorsneden van de compartimenten.

Tip: Het is beter om ook voor te boren in de ondersteuningsblokken, voordat U de boel samen schroeft - anders kunnen de blokken gemakkelijk splijten. Hiervoor gebruikt U een boor die 0,5 tot 1,0 mm dunner is dan de buitendiameter van de schroef.

NB: wanneer U de compartimenten samenstelt, let er dan op dat geen ondersteuningsblokken uitsteken buiten de randen van de schijven. Het is beter om de blokken net niet precies te laten



Figuur 5: Opengewerkte schets van het onderste compartiment (a) en bovenste compartiment (b).



Figuur 6: Doorsneden van het onderste compartiment (a) en bovenste compartiment (b).

aansluiten op de buitenrand, maar ietwat speling te nemen.

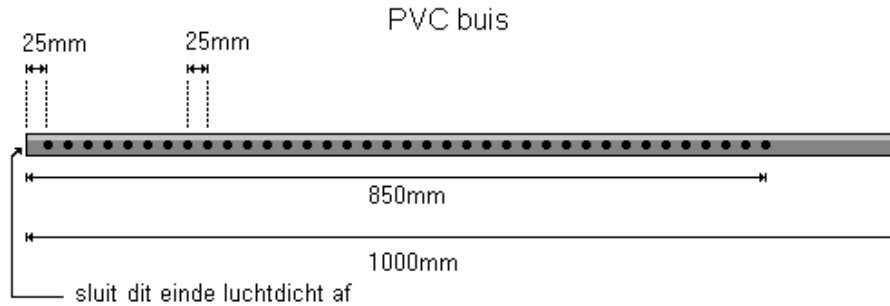
NB: Vergeet de ringen niet bij het gebruik van de balkkopschroeven (voor het monteren van het plexiglas op het hout), anders kan het plexiglas toch nog barsten.

NB: Als U alles goed doet, droomt U de eerstvolgende nacht over het barsten van plexiglas. Dat is het teken dat U voldoende secuur heeft gewerkt.

## 5.6 Gereedmaken van de PVC buis

Van de PVC buis zaagt U een stuk van 1000mm lang, en schuurt de beide uiteinden. Vervolgens tekent U langs de gehele lengte van de buis een lijn, en markeert U hierop boorgat-posities op elke 25mm, zoals in figuur 7. Laat een stuk van 150mm aan een uiteinde zoals het is - dit wordt het bovenste deel van de buis, dat gedeeltelijk in het ventilatorcompartiment zal steken.

Neem vervolgens een scherpe punt om de boorgat-locaties te priemen, om te voorkomen dat de boor aan de wandel gaat over het PVC. Boor met een 6mm boor de gaten uit. Let op dat U



Figuur 7: Uiterlijk van de PVC buis met luchtgaten.

alle gaten redelijk loodrecht boort. Het uiterlijk van de tornado is zeer afhankelijk van hoe U de gaten heeft geboord - als er enige gaten juist scheef zijn, blaast de lucht daar onder een andere hoek uit en krijgt de tornado een bocht. Als dit niet overmatig gedaan wordt, is dat effect zeer wenselijk, omdat een kaarsrechte tornado vrij saai zou zijn. Daarom kunt U het beste niet al te secuur de gaten loodrecht boren, door het karwei bijvoorbeeld met de hand te doen en niet een boorstandaard te gebruiken.

NB: dit verhaal van enigszins kronkelende tornado ipv. recht gaat alleen op voor laag ventilatorvermogen, wanneer de tornado zeer dun en zwak is. Bij vol vermogen is de tornado sowieso wel in het centrum van de generator omdat de lucht zich dan vrijwel als een enkele massa gedraagt.

Na het boren moet U het inwendige van de buis vrij maken van braming, er zal een boel afval-PVC in de buis zitten. Vervolgens schuurt U het uitwendige van de buis om de scherpe randen van de boorgaten te verwijderen en ook om een goede hechtende ondergrond voor verf te verkrijgen.

De buis dient aan een kant (de kant waar de gaten doorlopen tot aan het eind, zie figuur 7) afgesloten te worden, hiervoor kunt U wat afvalhout en smeltlijm gebruiken, dit werkt afdoende.

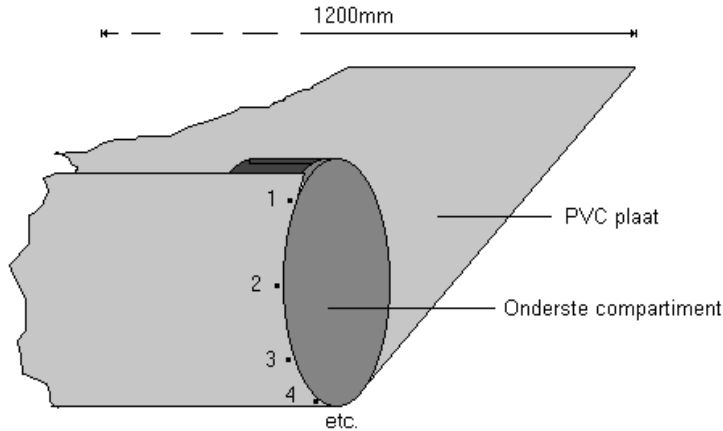
Tenslotte verft U de buis met de zijdemat-zwarte verf. Wees zuinig in gebruik van de verf, anders gaat het een en ander uitzakken. Beter is om meerdere keren dun te schilderen, met schuren tussendoor, dan in 1 keer een dikke laag.

## 5.7 Montage

Nu komt de tijd om het geheel samen te stellen. Leg de grote PVC plaat vlak neer, en plaats het benedencompartiment op de zijkant langs de *kortere* rand van de PVC plaat, in het midden. Buig een eind van de PVC plaat rond het compartiment, zoals in figuur 8. Schroef op de plaatsen 1 en 2 twee schroeven door de plaat in de rand van de houten schijf. Schroef nr. 1 moet zich ongeveer 50mm vanaf het eind van de plaat bevinden, zodat de kleine rechthoekige plaat later half onder de rand van de grote plaat zal passen. Let erop dat de rand van het PVC opgelijnd blijft met de onderkant van de houten schijf van het compartiment. En nogmaals, let goed op de goede orientatie van de PVC plaat, de plaat moet langs de kortere zijkant worden rondgebogen, zodat de plaat niet geheel rondom het compartiment reikt - dus zodat het venster ontstaat.

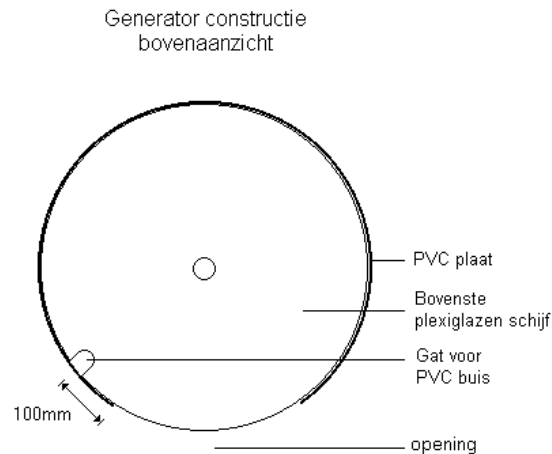
Schroef nog niet de andere schroeven erin, alleen nr. 1 en 2. Rol nu de plaat rond het compartiment en plak tijdelijk wat plakband rondom het geheel zodat de plaat niet afrolt. Neem





Figuur 8: Bevestigen van de PVC plaat.

vervolgens het bovenste compartiment, en plaats deze aan de andere kant van de rol PVC plaat. Draai het compartiment rond zodat de inkeping in de plexiglazen schijf op de juiste plaats uitkomt - dit is essentieel. De inkeping moet ongeveer 100mm vanaf de linker verticale rand van het PVC zitten, gezien alsof de generator recht overeind zou staan. Zie figuur 9.

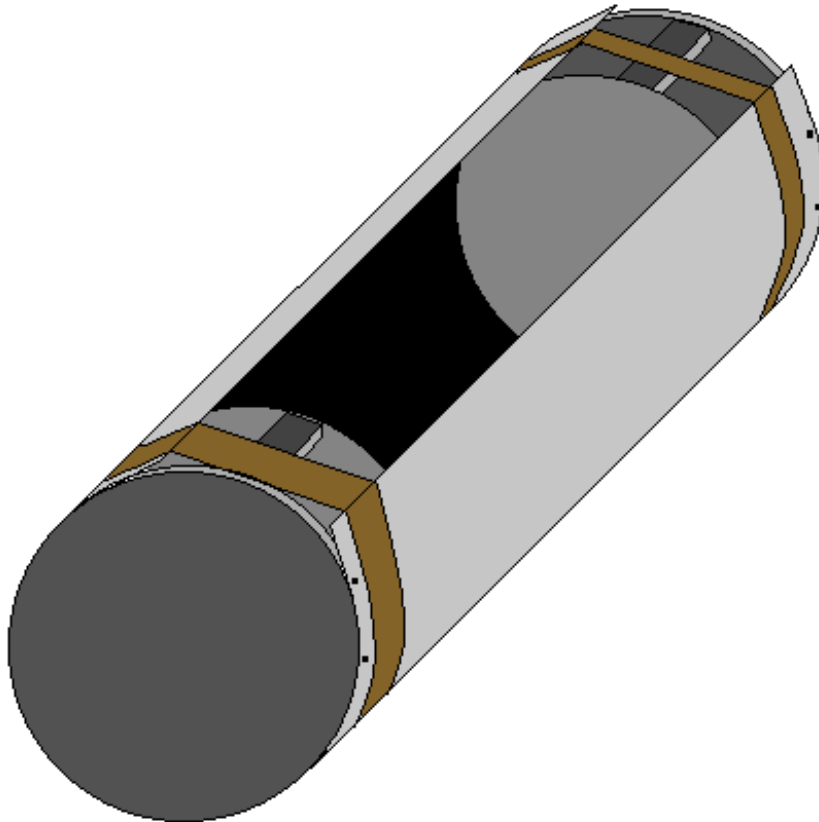


Figuur 9: Locatie van het gat voor de PVC buis ten opzichte van de opening aan de voorkant.

Vervolgens zet U ook het bovenste compartiment vast met schroeven 1 en 2, op gelijke plaats als U deed met het benedencompartiment. U krijgt iets dat er ongeveer uitziet als in figuur 10.

Nu kunt U alle andere schroeven inschroeven als aangegeven in de figuren, en wanneer dat gebeurd is kunt U de tape verwijderen. Let er bij het inschroeven goed op dat de randen van het PVC goed uitgelijnd zijn en blijven met de houten schijven, die nu de onder- en bovenkant van de generator vormen. *Schroef nog niet de eindpunten van de plaat vast, bij de opening.*

Neem de twee kleine PVC platen, en plaats ze op de juiste plaats, met de randen onder de rand



Figuur 10: Vastzetten van de plaat met tape.

van de grote plaat. Gebruik de smalste plaat (300mm x 175mm) voor de bovenkant van de generator, en de breedste plaat (300mm × 250mm) voor de onderkant. *Vooralsnog dient U niet de hoeken van de platen vast te schroeven.* Zet beide platen vast met slechts 2 schroeven 1 en 2 zoals in figuur 11.

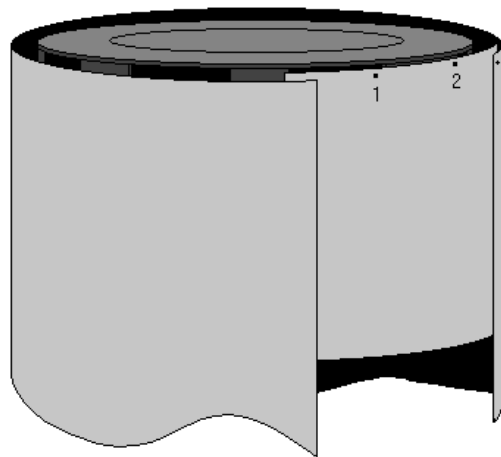
Ga op dezelfde manier te werk met de onderste plaat (300mm × 250mm).

Uw contraptie ziet er nu ongeveer uit als in figuur 12.

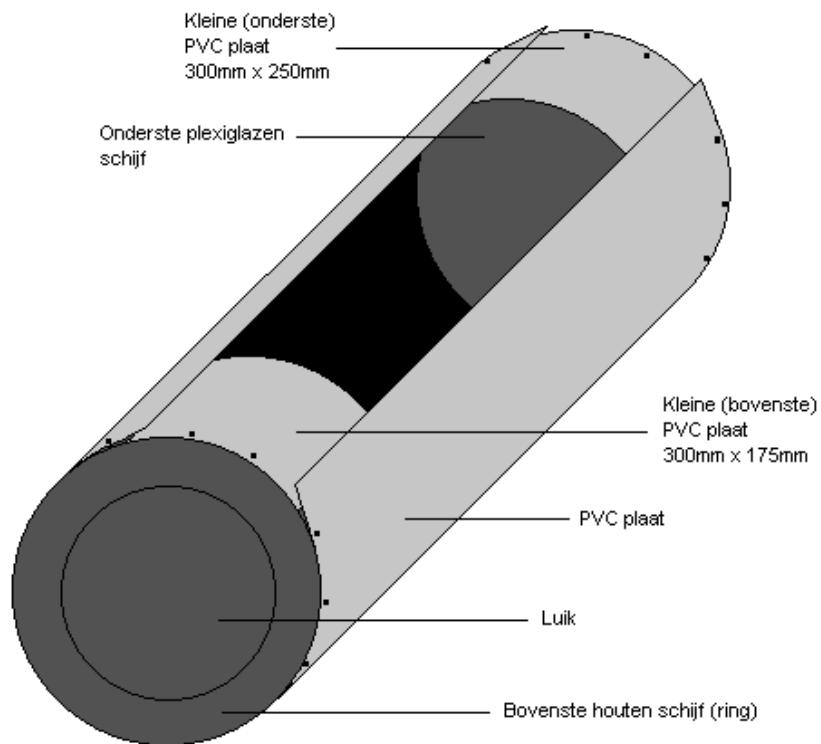
## 5.8 Schilderen

Voordat U de aluminium strips monteert, dient U de gehele generator te schilderen. U kunt het geheel in 1x schilderen, per schilderbeurt. Voor U begint, schuur eerst het PVC licht op zodat de verf beter zal hechten. Vergeet ook de binnenkant van de generator niet te schuren, zowel het PVC als het plexiglas. Het inwendige van de compartimenten kunt U overslaan, deze zijn uiteindelijk niet zichtbaar.

Start met het zwart schilderen van het generator interieur, want hiervoor moet U half naar binnen reiken en dat is vrij riskant als de buitenkant eerst geschilderd zou zijn. Schilder zodoende de binnenkant van het PVC en de twee plexiglazen schijven. Voor het schilderen van de bovenste plexiglazen schijf dient U een sector vrij van verf te houden, *aan de achterkant* van de generator

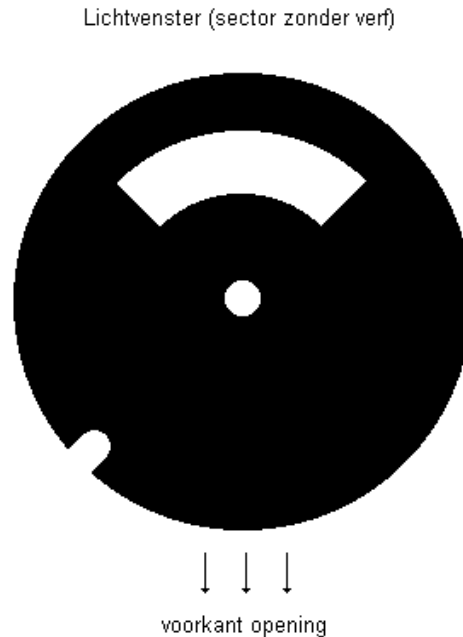


Figuur 11: PVC plaat montage boven de opening aan de voorkant.



Figuur 12: Afwerken van de montage van de plaat.

(de kant met de opening is de voorkant). Deze verfvrije sector is nodig voor het licht dat U later in het bovencompartiment monteert. Als U de plexiglazen schijven in de vorm heeft gestempeld zoals beschreven zult U bovendien de sector niet zien als U recht de generator inkijkt. In figuur 13 is het verfpatroon weergegeven dat U kunt toepassen voor de schijf. Met afplak-band kunt U het zeer netjes scherp schilderen.



Figuur 13: Bovenaanzicht van de plexiglazen schijf. Verflaag moet aan onderzijde worden aangebracht.

Het is aan te raden om de bovenste plexiglazen schijf het allereerst te schilderen. Dan de onderste schijf, vervolgens de rest van het interieur, en tenslotte het uitwendige (in de andere kleur, het grijs bijvoorbeeld).

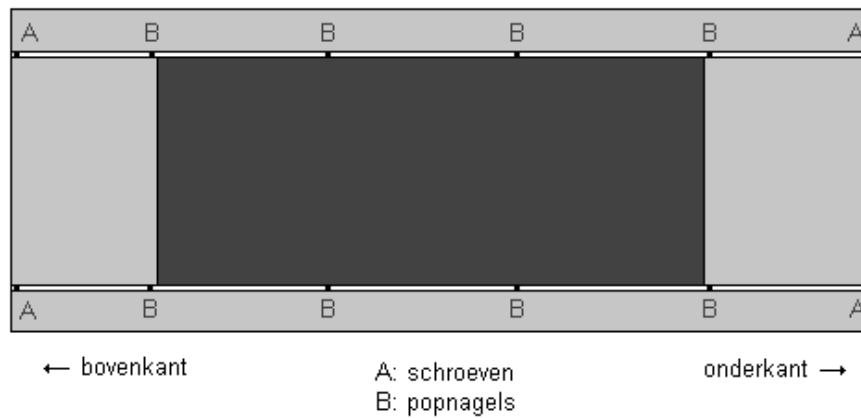
NB: de PVC plaat is lastig te schilderen, in die zin dat de verf nauwelijks dekt, de eerste keer. Stoort U zich hier niet aan, gewoon opbrengen, drogen, schuren, en meerdere lagen verf aanbrengen totdat het resultaat een mooi glad en dekkend uiterlijk krijgt.

Als U wilt kunt U later ook de bodem van de generator schilderen, maar dit is niet strikt noodzakelijk.

## 5.9 Bevestigen van de aluminium strips

Wacht ten minste 48 uur voor de verf om uit te drogen. Neem dan de twee aluminium strips, zorg ervoor dat ze 1200mm lang zijn. Boor gaten in het aluminium waar de bolkop Schroeven in passen, aan de beide uiteinden van de strips, 9mm vanaf het eind. Boor vervolgens 4 extra gaten in elke strip, waar de popnagels in passen, op 165mm, 430mm, 695mm en 960mm.

Dan neemt U de twee strips, en schroeft deze over het eind van de grote PVC plaat in het hout met daartussen de kleine PVC plaat, op de plaatsen gemarkeerd met 'A' in figuur 14. Nog niet ook de andere kant vastschroeven.



Figuur 14: Bevestigen van de aluminium strips.

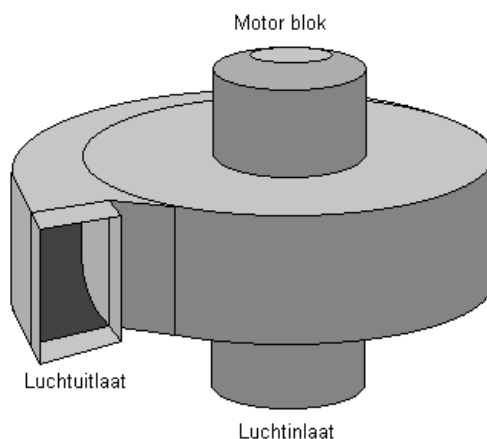
Nagel vervolgens de 8 popnagels door het aluminium en de PVC plaat op de plaatsen 'B' in figuur 14, waarbij U van de vastgeschroefde kant van het aluminium naar de andere kant werkt, zodat het PVC niet gaat plooiën. De generator dient hiervoor op de kant te liggen, zodat er geen druk op het PVC staat. Tenslotte schroeft U de strips aan de andere kant vast met schroeven, op de plaatsen 'A' zoals in figuur 14.

Behoed U zich voor het buigen van de aluminium strips: dit kan gemakkelijk gebeuren, zeker bij de boorgaten, en dit maakt het aluminium zeer zwak en onbruikbaar.

## 6 Overige installatie

### 6.1 Installatie van de ventilator en de luchtkanalen

Ik ga er van uit dat U in het bezit bent van een soortgelijke ventilator zoals weergegeven in figuur 15, met axiale luchtinvoer en radiale luchtuitvoer. Dit type ventilator is het gemakkelijkst om te installeren in de generator, en heeft de capaciteit om lucht onder druk te blazen.



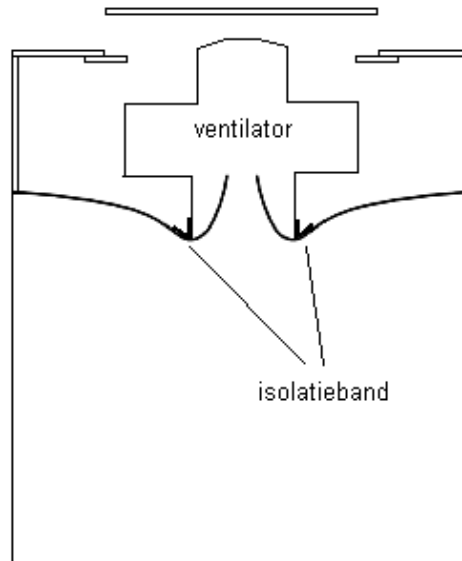
Figuur 15: Schematische tekening van een radiaal-type ventilator, zoals bijv. in stofzuigers zit.

Controleer nu de hoogte van de ventilator, als deze erg groot is past een en ander misschien niet direct in het bovenste compartiment van de generator. De ventilator die ik gebruikte had een motorblok dat uitstak, en zodoende moest ik een passend gat in het luik zagen.

Installeer de PVC buis in de generator, met het afgesloten eind naar beneden. Gebruik hiervoor geen kracht; als het goed is past de buis na enig proberen zonder moeite op de juiste plaats. Hiervoor dient U eerst de buis in het generator interieur te plaatsen, en vervolgens door het gat in de plexiglazen schijf te steken. Als dat gebeurd is, zet U de buis precies vertikaal. Er is ongeveer 50mm buis dat uitsteekt in het ventilator compartiment, terwijl de onderkant van de buis op de onderste plexiglazen schijf rust. Indien U wilt kunt U iets maken zodat de buis rechtop blijft staan - bijvoorbeeld door een stuk afvalhout op de onderste schijf vast te lijmen met een passende ruimte erin, zodat de buis geankerd is (maar wel draaibaar blijft).

Installeer tijdelijk de ventilator, met de luchtinlaat naar beneden, en laat deze rusten op het plexiglas. Controleer of er niet al te grote gaten zijn tussen de ventilator en het plexiglas. Zie figuur 16.

Nu volgt de eenvoudigste manier van het maken van een luchtkanaal van de ventilator naar de PVC buis: neem een oude sok (niet zo oud - er moeten geen gaten in zitten), en knip het tenen-eind af zodat de sok twee openingen heeft. Monteer de sok tussen de ventilator en de buis. Gebruik tape, touw, elastiek of kabelbinders om de sok op beide stukken te klemmen. Zorg ervoor dat de sok niet gedraaid is, hetgeen de luchtdoorvoer onderbreekt.



Figuur 16: Installatie van de ventilator in het bovenste compartiment.

Plak nu isolatietape rondom de ventilator waar deze het plexiglas raakt.

Als U ambitieus bent kun U natuurlijk een luchtkanaal fabriceren uit een oude stofzuigerslang o.i.d. Ik wil echter dringend aanraden de sok te gebruiken, omdat deze niet geheel luchtdicht is. Dat is voordelig, omdat anders misschien de ventilator teveel overdruk krijgt, en overtrekt (vergelijk: een vliegtuigvleugel). De ventilator slaat dan min of meer op hol wegens gebrek aan arbeid en wordt heet. Een sok voorkomt dat probleem door een teveel aan overdruk met het uitwendige enigszins te compenseren.

Tenslotte leidt U de elektrische bedrading van de ventilator naar buiten om later de voeding aan te verbinden (het is verstandig om deze voeding buiten de generator te houden, aangezien het nogal vochtig kan worden binnenin).

Sluit het luik van het bovenste compartiment.

## 6.2 Installatie van de mistgenerator

Hier valt een boel over te zeggen. Het type mistgenerator dat ik gebruikte was zeer compact, en deze plaatst U in het midden van het basin van de onderste plexiglasen schijf. De voedingskabel kunt U op de een of andere manier via de achterkant van de generator naar buiten leiden, of naar het onderste compartiment waarbij U later aan de achterkant een gat in het PVC snijdt. De mistgenerator is zwaar genoeg om gewoon te blijven staan, maar als U wilt kunt U deze nog extra vastzetten met wat smeltlijm. Voor gebruik van de mistgenerator vult U het basin totdat het water ca. 30 tot 40 mm boven de sensor van de mistgenerator staat.

Let wel: dit is alleen van toepassing op het type mistgenerator dat ik gebruikte! Andere mistgeneratoren werken natuurlijk ook uitstekend, maar die worden niet onder water geplaatst. U zult voor andere types mistgeneratoren misschien modificaties moeten maken, bijvoorbeeld een gat

boren in de onderste plexiglazen schijf voor doorvoer van een mistuitlaat-slang of iets dergelijks. Indien de mistgenerator een grote machine is zult U deze misschien in het onderste compartiment moeten plaatsen. Als dat niet past, zult U de mistgenerator buiten de tornado generator moeten gebruiken. Wat U ook doet, zorg ervoor dat de mist of rook onderin, vrijwel in het midden, het generator interieur binnen komt. Anders kan de tornado door overmatige mist gedeeltelijk aan het zicht onttrokken worden.

De juiste installatie is weergegeven in figuur 17a, voor de mistgenerator zoals ik gebruikte, of figuur 17b in het geval U iets anders gebruikt (zie beneden: aanpassing van de dimensies). In dat geval heeft U (hopelijk) van te voren de generatordimensies aangepast zodat een grote machine in het onderste compartiment past.

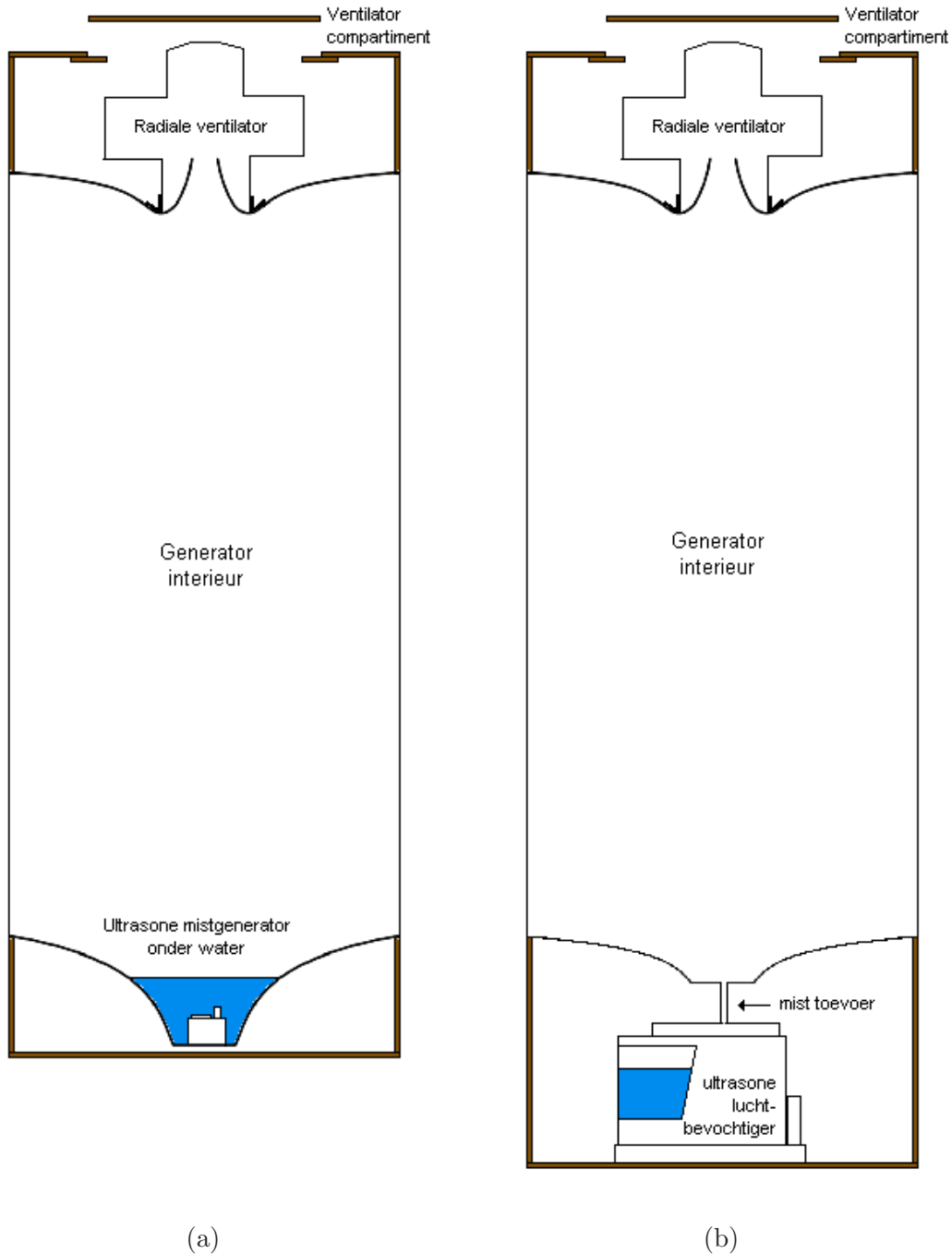
Ook heeft het zin om een iets anders gevormde plexiglazen schijf te gebruiken zodat de mistgenerator er nog onder past. Als de machine hoger is dan 130mm zult U de grotere versie van de tornado generator moeten bouwen, of de mistgenerator uitwendig gebruiken. Houdt in het laatste geval de aansluitingen van de misttoevoer zo kort mogelijk.

### **6.3 Installatie van de verlichting**

Voor het licht moet een laag-wattage lamp gebruikt worden! Bijvoorbeeld een 1W lamp of iets dergelijks. De lamp dient te worden bevestigd boven de sector op het plexiglas dat vrij van verf is. Houd afstand tussen de lamp, het plexiglas en zeker ook het PVC - anders zal een en ander warm worden en vervormen. Het PVC kan zeer slecht tegen warmte, en zal gelijk lelijke deuken gaan vertonen.

Als er geen verlichting is, is het bovenste deel van de tornado nauwelijks te zien wegens de schaduw van de generator. In dat geval biedt een lamp laag bij de vloer uitkomst.

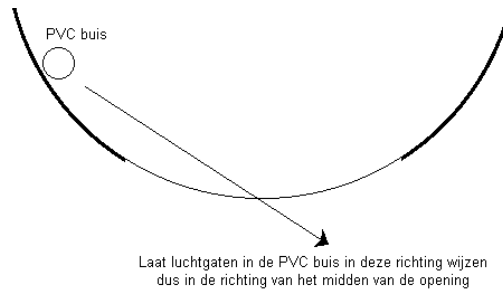




Figuur 17: Doorsnede van de generator met artistieke mistgenerator (a) of met een algemene (grotere) ultrasonische luchtbevochtiger (b).

## 7 Afwerking

Draai de PVC buis zodanig dat de luchtgaten hierin recht naar de opening van de generator wijzen, zoals in figuur 18. Het is verstandig de buis vast te zetten met wat smeltlijm, maar doe dit pas als de generator succesvol werkt.



Figuur 18: Juiste richting van de luchtgaten ten opzichte van de opening aan de voorkant van de generator.

Vervolgens gebruikt U wat siliconenkit om het interieur waterdicht te maken: kit langs de randen waar het plexiglas de PVC mantel raakt. Bij voorkeur is de kit zwart zodat er niets van te zien is, later.

Laat de kit uitdrogen voor enige tijd. Vervolgens controleert U in het ventilator compartiment of de sok toevallig verdraaid is door het verdraaien van de PVC buis. Zoja, maak de sok weer recht, zonder de buis te verdraaien.

## 8 Aanpassing van de dimensies

Het volgende beschrijft de stappen die U moet doen / anders moet doen, indien U een ander soort mistgenerator gebruikt, die te groot is voor het normale benedencompartiment van de tornado generator. Het benedencompartiment wordt nu verder aangeduid met het mistcompartiment. Ook als U niet geheel zeker bent of de mistgenerator die U wilt gebruiken zal passen, kunt U beter het ontwerp als volgt aanpassen:

- Maak de grote PVC plaat 1000mm × 1400mm;
- Maak de onderste kleine PVC plaat 300mm × 450mm (i.p.v. 300 × 250);
- Maak 6 van slechts 14 houten ondersteuningsblokken 350mm in lengte (deze 6 zijn voor het mistcompartiment), de overige 8 blijven 150mm (voor het ventilator compartiment);
- Gebruik aluminium strips met lengte 1400mm, bij voorkeur met iets grotere doorsnede: 3mm × 12mm of iets dergelijks (wegens de langere lengte);
- Vorm de onderste plexiglazen schijf iets anders, door de ronde vorm slechts voor ongeveer 5 cm diep te stempelen (er moet in principe nog steeds een kromming in zitten, zodat water terug kan vloeien en de generator niet doorweekt raakt).

Dat is alles, in dat geval krijgt U een generator die 1,4 meter hoog is met een mistcompartiment dat meer dan 30 cm hoog is - hetgeen de meeste mistgeneratoren zeker kan onderbrengen. Een opmerking over de houten ondersteuningsblokken: Sla twee posities hiervoor over bij de fabricage van het mistcompartiment, aan de achterkant van de generator (daarom zijn er maar 6 nodig en geen 8). Na het schilderen van de generator snijdt U vervolgens een rechthoekig gat in de PVC plaat, waar de onderbreking in de houten ondersteuningsblokken is, zodat U een en ander gemakkelijk kan installeren onderin.

## 9 Opstarten van de generator

Nu is het moment om de generator te testen. Sluit de ventilator aan op de toerenregelaar en de voeding, of op de regelbare transformator en het lichtnet indien U een ventilator gebruikt die op wisselspanning werkt. Vul vervolgens het basin met (liefst gedestilleerd) water, ofwel vul enig ander soort mistgenerator, of wat ook. Start de mistgenerator, en wanneer er zich enige mist onderin de generator heeft verzameld, start U de ventilator op. Als het goed is ziet U de mist beginnen rond te draaien, en na 5 tot 10 seconden tot soms meer dan 1 minuut (afhankelijk van het vermogen van de ventilator) ziet U een tornado tot ontwikkeling komen.

Veel plezier!

### 9.1 Tips voor gebruik

Hieronder volgen een aantal fascinerende dingen die U kunt doen met de generator:

- Vanuit rust, start de ventilator en laat deze uiterst langzaam lopen. Een wolk van mist begint langzaam rond te draaien op de bodem van de generator, waaruit pas na minuten een tornado ontwikkelt. Deze tornado is zeer dun, als een koord, zich omhoog kronkelend naar de top van de generator. Schakel na enige tijd de mistgenerator uit, en wacht totdat alle mist door de tornado weggezogen is - dit duurt soms langer dan 5 minuten! De tornado wordt uiteindelijk vrijwel transparant, en U kunt de verschillende luchtlagen bekijken, zichtbaar gemaakt door mist, die rondom de lagedrukkern van de vortex draaien.
- Laat de ventilator op vol vermogen draaien, en schakel de mistgenerator aan, uit, aan, enz. Indien de mistdelen die kortstondig geproduceerd worden, *in* de kern van de tornado ontstaan, razen deze met hoge snelheid omhoog door de kern - soms met meer dan 5 m/s! Blijkbaar is de druk in de kern van de tornado relatief toch aanzienlijk lager dan de omgevingsdruk, voor het zo snel omhoog bewegen van deze mistflarden. Als de mist niet precies in de kern ontstaat, maar even erbuiten, stijgt de mist langzamer langs de kern op, of stopt en begint rond de vortex te circuleren. Op deze manier is goed te zien dat hoekimpuls van de luchtmassa (het stukje mist) toch zeer goed behouden is.
- Laat de ventilator op vol vermogen draaien, schakel de mistgenerator af, en wacht totdat vrijwel alle mist in de vortex verdwenen is. Op dat moment zult U nog steeds een zeer dunne, transparante laag mist zien ronddraaien om de vortex (die zelf niet meer zichtbaar is), meer dan 10 cm in diameter, als een dunne schil. De dunne laag mist maakt zo nu en dan wervelende of spiraliserende bewegingen, afhankelijk van lichte turbulentie in de generator.
- Stoor de tornado door uw handen in de vortex te steken, en bekijk hoe de tornado zich nadien probeert te stabiliseren. Als de ventilator op laag vermogen draait, heeft de tornado zeer veel moeite hiermee, bij hoog vermogen is de tornado in een fractie van een seconde weer gestabiliseerd.
- Laat de ventilator op vol vermogen draaien, en wanneer een sterke tornado is ontstaan, kunt U uw hoofd in de generator steken om *naar beneden door het oog van de tornado* te kijken. Dat is apart! Maar doe dit snel, want de tornado wordt onderbroken op het moment dat U uw hoofd in de generator steekt. Bij een sterke tornado heeft U meestal ongeveer 1

seconde om het te zien. De kern van de tornado is vrijwel helder. Pas overigens wel op dat de generator niet stoffig is, of iets dergelijks, want er kan door de luchtstroming een klein deeltje in uw oog vliegen. Dat heb ik nooit gehad, maar voorzichtigheid is geboden.

- Laat de ventilator op vol vermogen draaien, en stoor de tornado door de luchtstroming langzaam te onderbreken: steek uw hand loodrecht op de luchtstroming langzaam in de generator, ongeveer halverwege de hoogte. U zult de tornado zien afbuigen, om te proberen een cilindrische luchtcirculatie elders in de generator te handhaven. Hoe meer U uw hand in de generator steekt, hoe meer de vortex ombuigt, totdat deze in een meervoudige, grillige S-vorm vrijwel horizontaal is vlak bij uw hand - om vervolgens ineens volkomen in te storten.
- Tijdelijk kunt U de ventilator van de plexiglazen schijf afhalen, en een stofzuiger hierop aansluiten, zodat de ventilator uitlaat nog steeds gebruikt wordt voor actieve luchtcirculatie d.m.v. de PVC buis, maar dat de stofzuiger gebruikt wordt voor afzuiging. De tornado is dan veel krachtiger.

## 9.2 Oplossen van problemen

Als de generator geen tornado produceert, of nauwelijks, controleer dan de volgende punten:

- Controleer of de ventilator werkt;
- Controleer of er lucht uit de gaten van de PVC buis stroomt. Een roterende mistmassa is hier een teken van;
- Controleer de orientatie van de gaten in de PVC buis. Deze moeten naar het midden van de opening in de generator wijzen—zie figuur 18;
- Ventilator is niet krachtig genoeg. Gebruik een type dat ongeveer zo krachtig is als een kleine stofzuiger.
- Ventilator is verkeerd aangesloten op de voeding en/of toerenregelaar. Indien de ventilator gelijkspanning vraagt, controleer dan de polariteit (+ en -). Indien de ventilator wisselspanning vraagt, is het misschien nodig (zeker bij zwaardere ventilatoren) om een zogenaamde opstart- of 3<sup>e</sup>-fase-hulpcondensator te gebruiken. De ventilator moet hard genoeg blazen om papier in de gemiddelde kamer aan het vliegen te krijgen, wanneer U de ventilator erop richt vanaf een paar meter afstand;
- PVC buis is niet of niet voldoende afgesloten aan de onderkant, of is ondersteboven gemonteerd. Als de buis niet goed is afgesloten gaat de meeste lucht er doorheen om vervolgens langs de bodem van de generator uit te spreiden;
- Probleem met het luchtkanaal tussen de ventilator en de buis: controleer of de sok niet verdraaid is, of dat er een gat in zit groter dan ca. 1 cm diameter;
- Omgevingslucht rondom de generator is niet stabiel. Zit—bij laag vermogen ventilatorinstelling—redelijk stil, adem niet teveel in de generator, en gebruik de generator binnenshuis;
- Ventilator inlaat en/of uitlaat geblokkeerd;

- Ventilator inlaat bij het plexiglas heeft een groot lek. Controleer dat en indien nodig, gebruik extra tape. NB: ik denk niet dat U dit probleem heeft, daar mijn ventilator niet eens vastgetaped is - lekken zijn niet erg, zolang het bovenste compartiment maar geen lek heeft naar de buitenwereld. Houd het luik gesloten;
- Te weinig luchtgaten in de PVC buis voor het gebruikte type ventilator. Misschien is de binnendiameter van de buis zelf te klein voor de ventilator, met andere woorden, de ventilator kan slecht tegen een grote tegendruk. Probeer een andere ventilator, boor wat meer gaten in de buis, of boor de bestaande gaten op naar bijv. 8mm. NB: het totaal oppervlak van de gaten hoeft niet veel meer te zijn dan de binnendoorsnede van de buis - als die bijvoorbeeld 5 cm<sup>2</sup> bedraagt, heeft het boren van meer gaten weinig zin als de gezamenlijke diameter van al die gaten al meer dan die 5 cm<sup>2</sup> is;
- Iets groots in de generator, een of ander object—vergeten kop koffie?—voorkomt een goede turbulentie-vrije (zgn. “laminaire”) circulatie van de lucht. Controleer of de breedte van de generator-opening niet groter is dan 1/5 van de omtrek. Gebruik ook een *ronde* PVC buis;
- Montagefout, de generator heeft niet de goede afmetingen / verhoudingen, of onderdelen zitten op de verkeerde plaats. Herlees dit document om te controleren;
- Bekijk de mist op de bodem van de generator, wanneer de ventilator aangeschakeld is. Als deze ronddraait, wordt er blijkbaar lucht gecirculeerd, en ligt het probleem hoogst waarschijnlijk in een luchtlek ergens in het bovenste compartiment, zodat de ventilator lucht van elders aanzuigt - ook kunt U proberen het lucht-uitvoer gat in de bovenste plexiglazen schijf te vergroten, tot de diameter van de luchtinlaat van de ventilator;
- Teveel mist duidt op een te krachtige mistgenerator in combinatie met een laag vermogen ventilator. De mistgenerator die ik gebruikte produceert ca. 10 cc mist per seconde;
- Mist die uit de generator wordt geblazen, uit de opening, duidt op een verkeerd uitgelijnde PVC buis, draai deze dan iets zodat de lucht wat meer de generator in geblazen wordt.

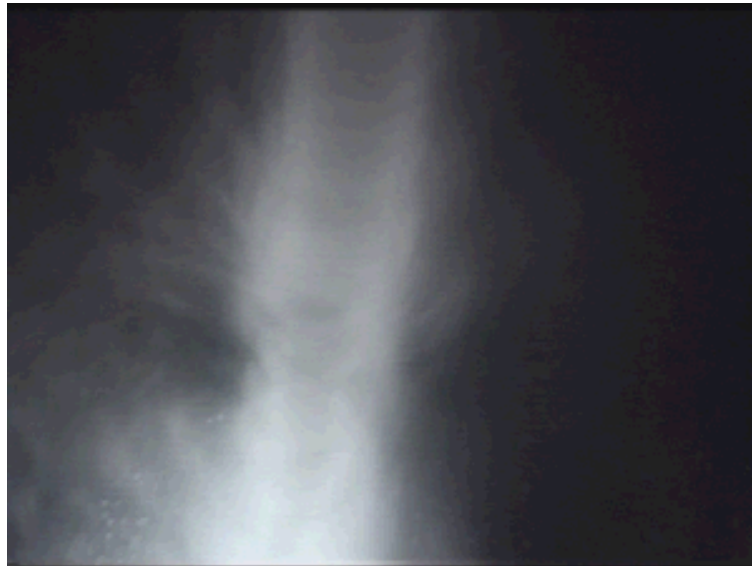
Met andere problemen, danwel onopgeloste problemen, kunt U me emailen voor vragen via [edens@weather-photography.com](mailto:edens@weather-photography.com).

## 10 Foto's

Deze sectie bevat enkele foto's van mijn generator, zodat U kunt zien en vergelijken hoe goed Uw generator presteert.



Figuur 19: De prototype tornado generator in mijn woonkamer, tijdens het testen.



Figuur 20: De vortex, met een donkere (holle) kern, en mist hieromheen draaiend.



Figuur 21: Goed ontwikkelde sterke vortex.



Figuur 22: De vortex kan worden vervormd door een object in de machine te plaatsen, zoals Uw hand. Indien de vortex goed ontwikkeld is, is de vortex merkwaardig sterk: deze kan soms wel 90 graden ombuigen (horizontaal) langs de hand, voordat de vortex opbreekt.





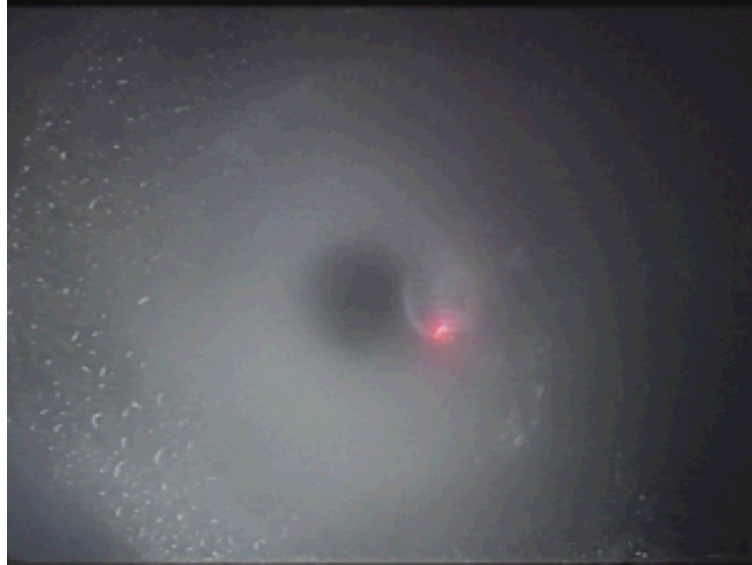
Figuur 23: De vortex met de generator op vol vermogen. De vortex (of de mistgenerator) moet iets uit het midden worden geplaatst, zodat de mist niet direct in de kern van de vortex terechtkomt en te snel verdwijnt naar boven. Als de mist aan de zijkant van de vortex opgezogen wordt wordt de vortex breder, en ziet U de gelaagde structuur van de vortex goed.



Figuur 24: Als de mistgenerator niet actief is, kan de vortex op het wateroppervlak toch gezien worden, door een wervel op het wateroppervlak. Deze foto demonstreert ook de noodzaak van een gewelfde onderste plexiglas plaat om het spatwater te laten terugvloeien naar het waterbasin. Er is een boel spatwater dat rondvliegt in de machine.



Figuur 25: Ik heb het gepresteerd om een dubbel-vortex tornado te genereren, waarbij de twee vortices om elkaar heen draaien. Deze configuratie is moeilijk te verkrijgen, en de vortices zijn zeer onstabiel. Ik kreeg de configuratie door de richting van de luchtgaten in de PVC buis iets naar het centrum van de generator te oriënteren, en de machine op vol vermogen te laten draaien.



Figuur 26: Ja, een tornado vortex *heeft een oog!* Deze foto toont het oog van de vortex, zijnde de holle kern. De kern lijkt vrij van mist omdat de lucht in de kern zeer snel omhoog beweegt en uit de vortex verwijderd wordt. De foto werd gemaakt door snel de camera in de vortex te houden en een foto te maken, naar beneden, in het korte moment voordat de vortex opbrak door de obstructie. Het rode licht in het midden is de LED van de mistgenerator.

[AANTEKENINGEN]