1 Mast

Der Mast ist eine stabile Fachwerkkonstruktion. Dieser ist 10m hoch und wiegt ca. 430kg. Damit ist diese Baugruppe die höchste und schwerste Konstruktion der Anlage. Der Mast verbindet Gondel, Fundament und Pumpe. Dabei erfüllt der Mast mehrere Aufgaben. Zum einen trägt er die Gewichtskraft der Gondel, des Rotors sowie der Steuer- und Querfahnen. Zum anderen ist die Höhe des Mastes ausschlaggebend für den Energieertrag. Je höher der Rotor aufgestellt ist, desto höhere Windströmungen können erreicht werden. Durch die pyramidale Form schützt, stabilisiert und führt der Mast das Pumpengestänge. Diese verläuft mittig durch den Mast von der Gondel zu der Pumpe. In windreichen Gebieten kann der Mast kürzer ausgelegt werden. Zu den windreichen Gebieten zählen u.a. Küstengebiete.

In der Abbildung 11 ist die Baugruppe Mast dargestellt. Der Mast besteht aus einem Gestell. Dieser ist ca. 10m hoch. Am unteren Ende des Masts werden die vier Mastfüße mit ihren Scharnieren angeschweißt. Diese verbinden den Mast mit dem Fundament. Am oberen Teil des Mastes wird eine Arbeitsplattform angebracht. Diese ermöglicht einen sicheren Stand bei der Inbetriebnahme und späteren Wartungsarbeiten an den oberen Baugruppen.
Am oberen Ende des Mastes befindet sich das dreiteilige Azimutlager zwischen Mast- und Gondelrohr. Das Gondelrohr liegt unten auf dem Azimutdrucklager auf. Dieses Azimutlager aus einer Messing-, Kupfer- oder Bronzeplatte ist ebenso wie die beiden anderen Radiallager ein Gleitlager. Die beiden breiten Lagerhülsen der Radiallager übertragen die Biegekräfte zwischen dem Mastrohr und dem Gondelrohr. Sie sind oben und unten mit dem Mastrohr verklebt, damit sie nicht verrutschen.

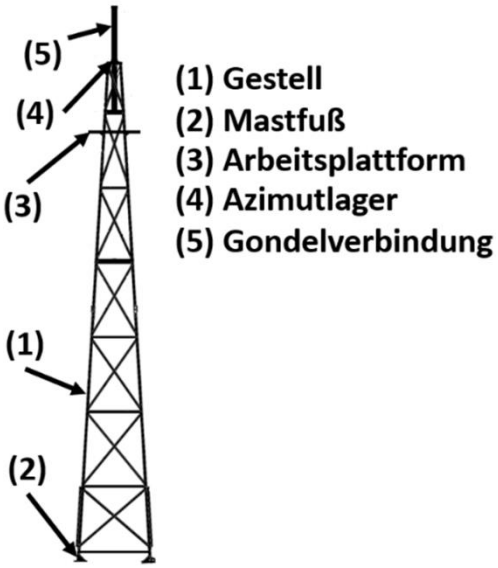


Abbildung 11 – Baugruppen des Mastes

1.1 Maststruktur

In der Abbildung 12 ist das Gestell des Mastes dargestellt. Der Mast besteht aus vier gleichen Seiten. In der Mitte des Mastes, sowie bei der Mastspitze befinden sich Schraubverbindungen. So kann der Mast in drei Teilen zum Aufstellort transportiert und vor Ort verschraubt werden. Für die Konstruktion werden zwei unterschiedliche Baugrößen von L-Profilen (Winkelprofil) verwendet. Die vier Eckstiele werden auch als Längsstreben bezeichnet. Sie sind aus Profilstahl von 50 × 50 × 5mm gefertigt. Die innen liegenden Streben werden als Diagonalstreben bezeichnet. Diese Winkel haben die Maße von 40 × 40 × 4mm. Die horizontal liegenden Streben, die rahmenartig die Stiele miteinander verbinden, werden als Querstreben bezeichnet. Diese acht Rahmen unterteilen den Mast in sieben Segmente. Die untersten Querstreben sind aus einem Profilstahl von 50 × 50 × 5mm gefertigt, da diese beim Aufstellen der Anlage höhere Kräfte aushalten müssen. Alle anderen sind aus einem Profilstahl von 40 × 40 × 4mm. Das oberste Segment hat die Höhe von 1m. Alle darunter liegenden Segmente haben einen Abstand von je 1,50m. Um die Stabilität der gesamten Anlage zu gewährleisten, erhalten die sechs obersten Segmente eine Diagonalstrebe pro Seite. Das unterste Segment ist pro Seite jeweils mit zwei überkreuzten Streben stabilisiert. Die Streben sind mit den Stielen verschweißt.

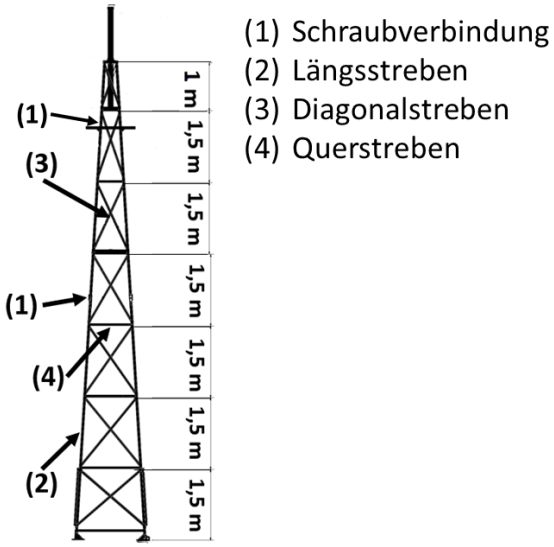
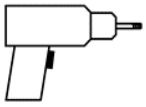
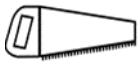
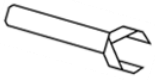
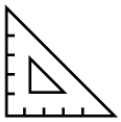
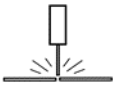


Abbildung 12 – Einteilung der Streben

Werkzeuge

						
	6,6; 12	Metall	SW18	90°		

Materialien

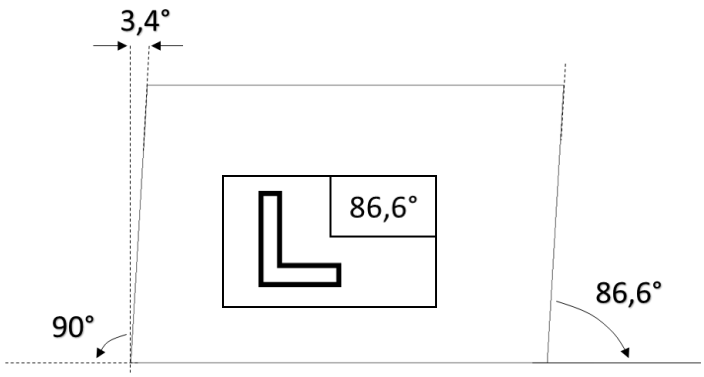
Pos		Rohmaterial	Bezeichnung	Norm	Maße	Menge	Material
1.1	**-1**	**R - 22**	L-Profil	DIN EN 10056-1	50x50x5x5009mm	4	S235
	-2	**R - 22**	L-Profil	DIN EN 10056-1	50x50x5x5227mm	4	S235
	-3	**R - 22**	L-Profil	DIN EN 10056-1	50x50x5x1465mm	4	S235
	-4	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x1310mm	4	S235
	-5	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x1132mm	4	S235
	-6	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x952mm	4	S235
	-7	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x773mm	4	S235
	-8	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x594mm	4	S235
	-9	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x389mm	4	S235
	-10	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x278mm	4	S235
	-11	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x380mm	2	S235
	-12	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x1789mm	4	S235
	-13	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x1789mm	4	S235
	-14	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x1800mm	4	S235
	-15	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x1676mm	4	S235
	-16	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x1565mm	4	S235
	-17	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x1468mm	4	S235
	-18	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x1131mm	4	S235
	-19	**R - 28**	L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x834mm	4	S235
	-20	**R - 22**	L-Profil	DIN EN 10056-1	50x50x5x300mm	8	S235
	-21		Sechskantschraube	ISO 4017	M12x35-8.8	88	
	-22		Sechskantmutter, Klemmteil	DIN EN ISO 7040	M12-8.8	88	
	-23		Unterlegscheibe	ISO 7091	12	176	
	-24		Sechskantschraube	ISO 4017	M10x35-8.8	6	
	-25		Sechskantmutter, Klemmteil	DIN EN ISO 7040	M10-8.8	6	
	-26		Unterlegscheibe	ISO 7091	10	12	

Tabelle 7 - Stückliste 1.1 Maststruktur

Konstruktion

Schablone

Um die Ausrichtung des Mastes präzise vorzunehmen, bietet es sich an, eine genaue Holzschablone zu bauen. Diese kann aus einer einfachen Holz- oder Blechtafel gefertigt werden. Mit Schraubzwingen kann man dann die Mastprofile von dem Schweißen gut ausrichten. Die Kantenlängen sollen dabei mindestens 700mm sein. Fortan wird die Verwendung der Schablone mit folgendem Symbol gekennzeichnet

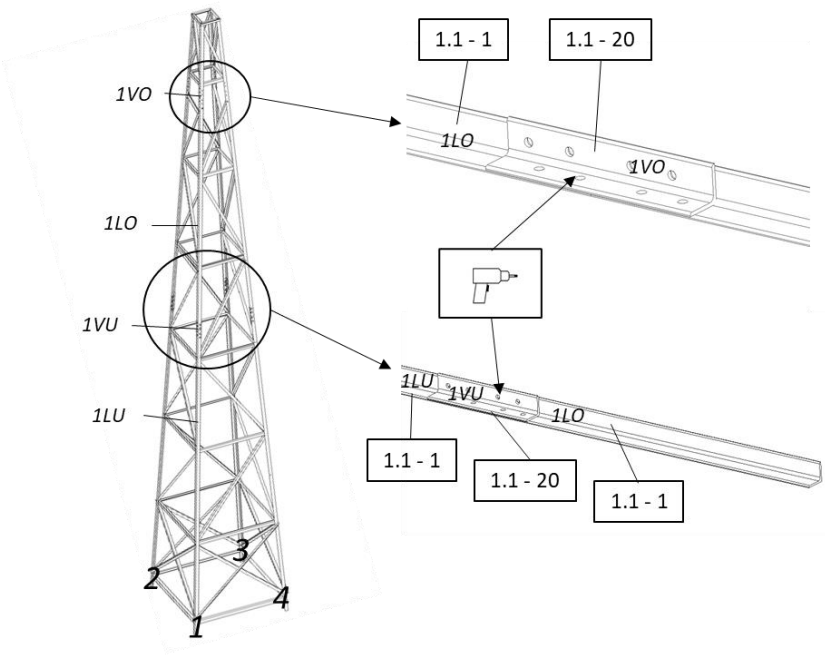


1. Alle Teile werden zuerst gesägt. Die Längen aller benötigten L-Profile können der Materialliste entnommen werden. Wenn möglich können die Diagonalstreben auch mit einem Plasmaschneidgerät zugeschnitten werden. Nach dem Sägen sollten die einzelnen Bauteile nummeriert werden. Es ist gut, die Bauteilnummern zu verwenden.

Mastbau

2. Alle Teile werden zuerst auf Maß gesägt. Die Längen aller benötigten L-Profile können der Materialliste entnommen werden. Nach dem Sägen sollten die einzelnen Bauteile nummeriert werden. Dabei bietet es sich an, die hier verwendete Nummerierung zu verwenden.

Zunächst werden je zwei 5009mm lange Maststiele (1.1-1) mit Hilfe eines Winkeleisens (1.1 – 20) oder je zwei Flacheisen (40mm x 6mm, ohne Abbildung) mit den Verbindungswinkelprofilen miteinander verbunden.



Verbindungswinkeleisen

Bevor die Verbindungswinkeleisen angeschraubt werden können, muss die äußere Kante mit einem 7mm Radius versehen werden. Nur dann legen sich ihre Profilflächen des Winkelprofils genau an die inneren Flächen der Stielprofile an.

Mit Schraubzwingen fixieren

Genau mit Schraubzwingen fixieren.

Löcher gemeinsam bohren

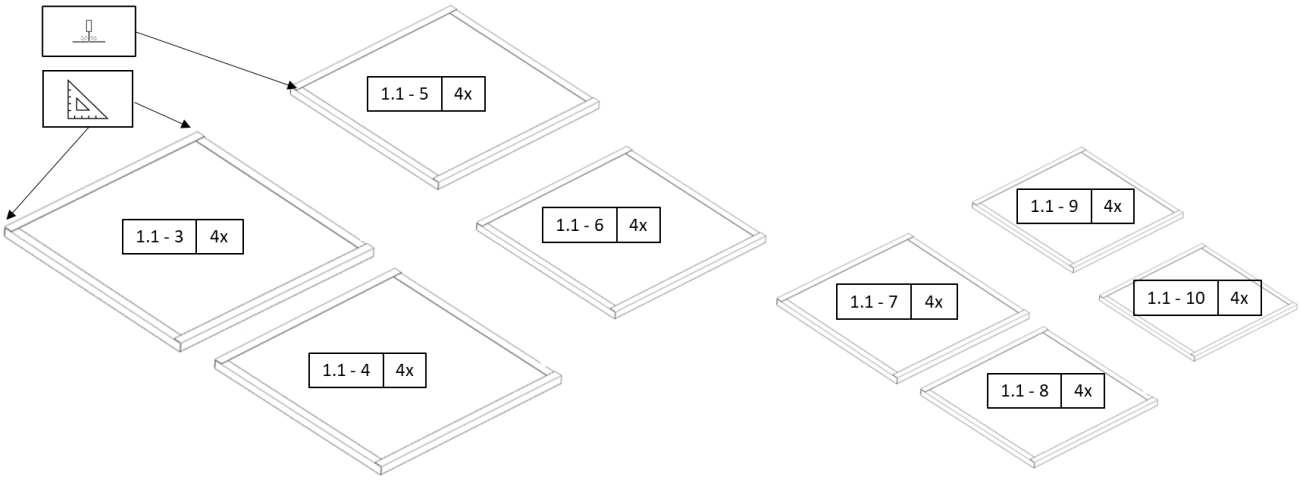
Die Löcher sind mit den entsprechenden Verbindungsprofilen gemeinsam gebohrt. Nur so werden die unteren und oberen Längsstreben [1.1-1] mit den Verbindungsstücken [1.1-20] zusammen fehlerfrei gebohrt.

Verbindungen markieren

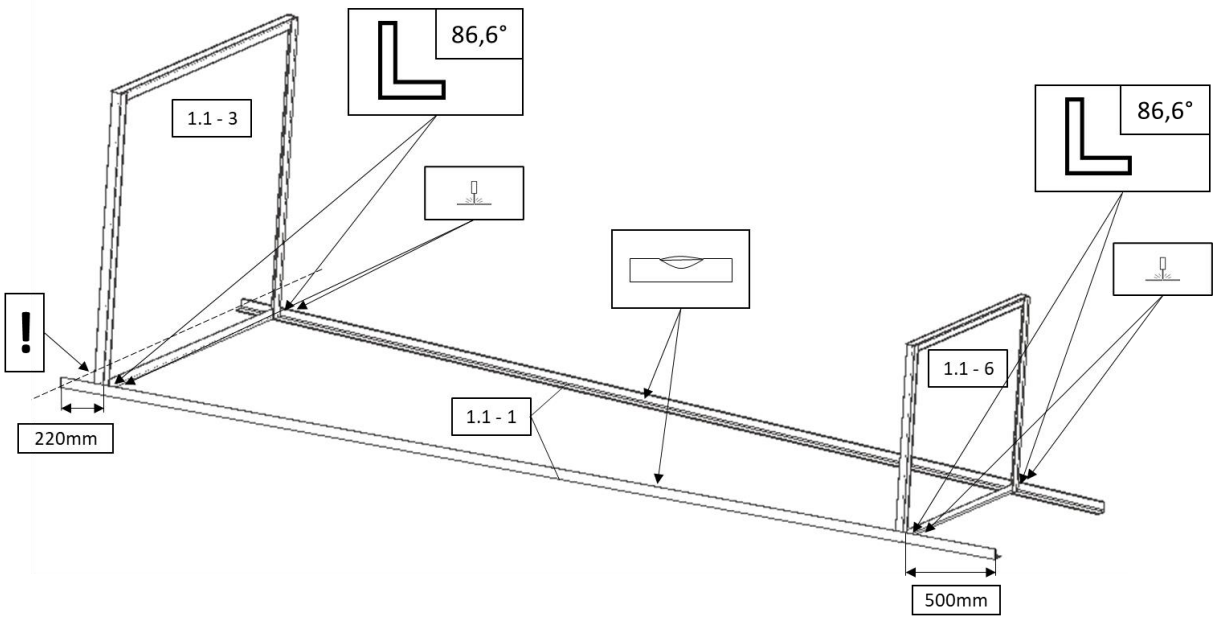
Hierbei ist es besonders wichtig, dass man die Positionen der Bauteile vor dem Bohren eindeutig markiert, um sie später bei der Montage wieder richtig verschrauben zu können. Die hier vorgeschlagene Markierung setzt sich wie folgt zusammen:

1 – Nummerierung der Mastecken
L – Längsstreben
V – Verbindungsstück
O – Oben
U – Unten

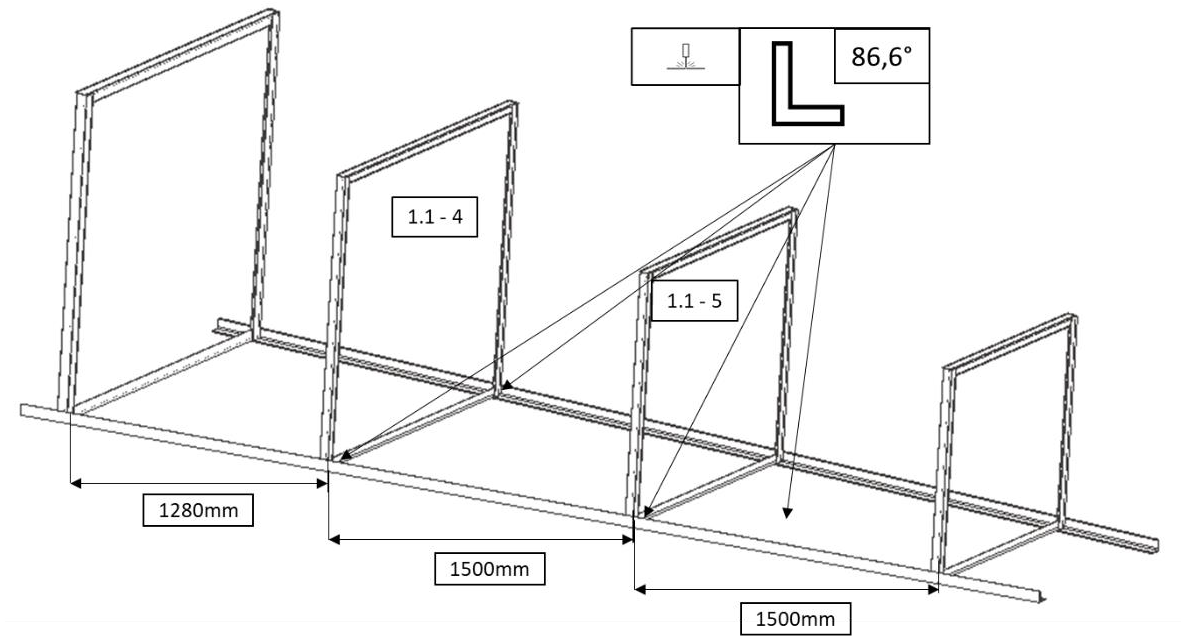
3. **Querstreben verschweißen**
   Die auf einen Millimeter genau gesägten Querstreben werden zu Quadraten auslegt und an den Ecken überlappend verschweißt. Dabei ist darauf zu achten, dass diese rechtwinklig ausgelegt werden. Insgesamt sind es 8 Quadrate.

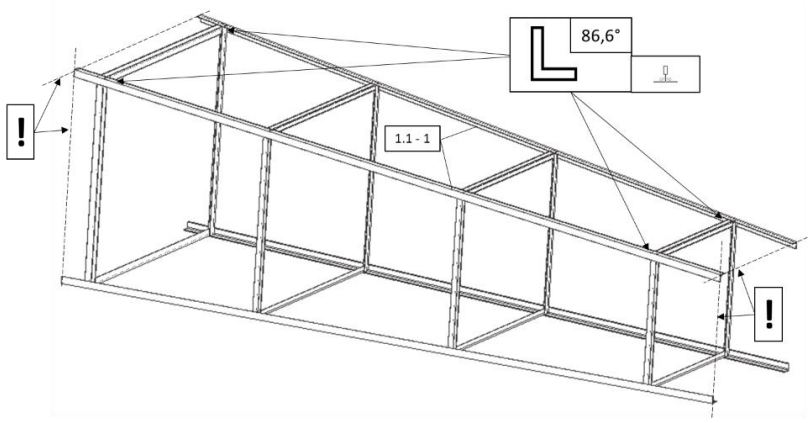


4. **Die Fertigungsfläche sollte eben und waagerecht sein**.
   Genau auf dem Boden anzeichnen
   Auf dem Boden wird eine 11m lange Linie (mit einer Schnur als Hilfsmittel) gezogen und genau (!!!) rechtwinklig am Ende eine 2m lange Linie, einen Meter nach jeder Seite. So hat man zum Kontrollieren immer die Symmetrie einer Mittellinie. Der Mast steht später nicht senkrecht, wenn hier Fehler passieren.
   Unteren Maststiele an die Querstrebenrahmen heften
   Zuerst wird der untere Teil des Mastes gebaut. Dazu zwei Längsstreben [1.1-1] auf dem Boden auslegen und sicherstellen, dass diese auf einer Höhe liegen und mittels einer Wasserwaage waagerecht, gleich hoch und gerade auf dem Boden ausgerichtet sind. Um eine Beschädigung des Mastes und des Bodens zu verhindern, sollten dazu gleichhohe Holzblöcke oder Platten unter die Stiele gelegt werden (Durchbiegung durch das Eigengewicht verhindern!).
   Danach wird zuerst das untere Querstrebenquadrat [1.1-3], danach das obere [1.1-6] eingelegt, mit Schraubzwingen festgespannt und geheftet. <u>Der Winkel zwischen Querstrebenrahmen und Eckstielen spielt hierbei eine entscheidende Rolle und muss auch vor und nach dem Heften immer wieder geprüft und korrigiert werden</u>. Nach dem Ausrichten wird punktweise geheftet und danach mit kurzen Nähten geschweißt.



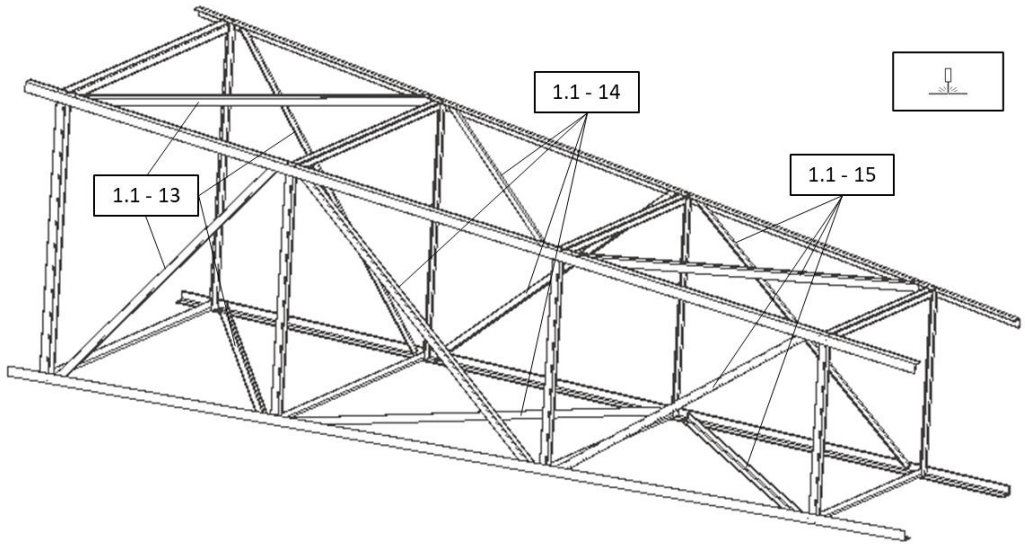
5. Danach werden die mittleren Querstrebenquadrate [1.1-4 und 1.1-5] eingelegt und ebenfalls punktweise geschweißt.



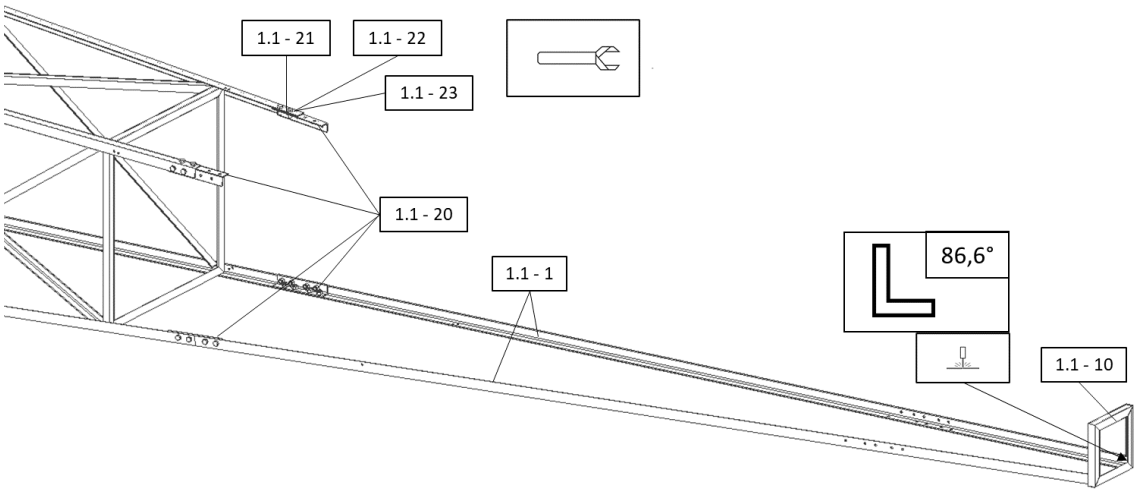


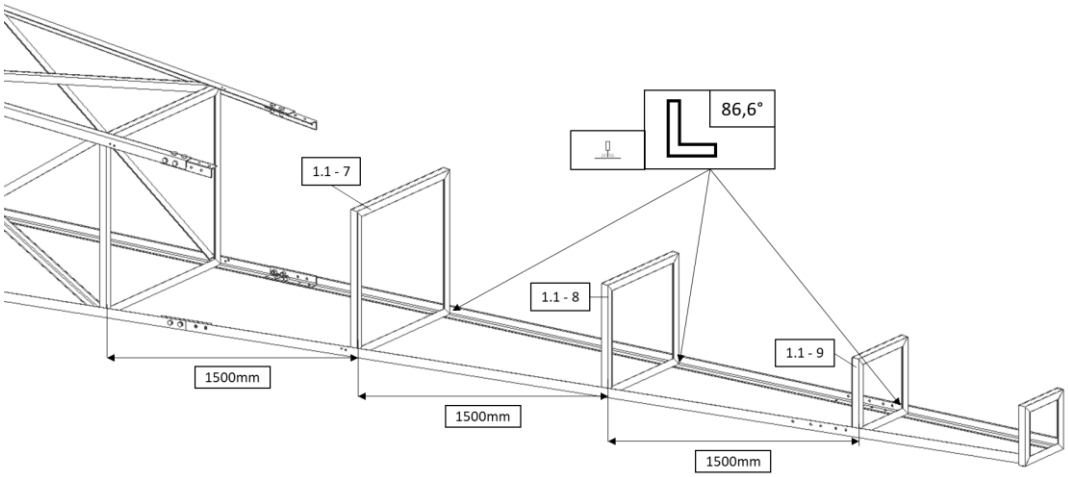
6. Im nächsten Schritt werden die anderen beiden Längsstreben angelegt und punktiert. Hier ist es ebenfalls sehr wichtig, darauf zu achten, dass der **Winkel und die Abstände der Längsstreben zueinander und zu den Querstrebenquadraten eingehalten werden**. Dies muss mit besonderer Sorgfalt gefertigt werden, da der Mast sonst nicht gerade wird.

7. Nun wird geprüft, ob alle Teile genau positioniert und ausgerichtet sind. Als nächstes werden die Diagonalstreben eingesetzt und punktweise geschweißt. <u>Beim unteren Sektor werden vorerst nur die innen verschweißten vier Diagonalstreben eingebaut.</u>



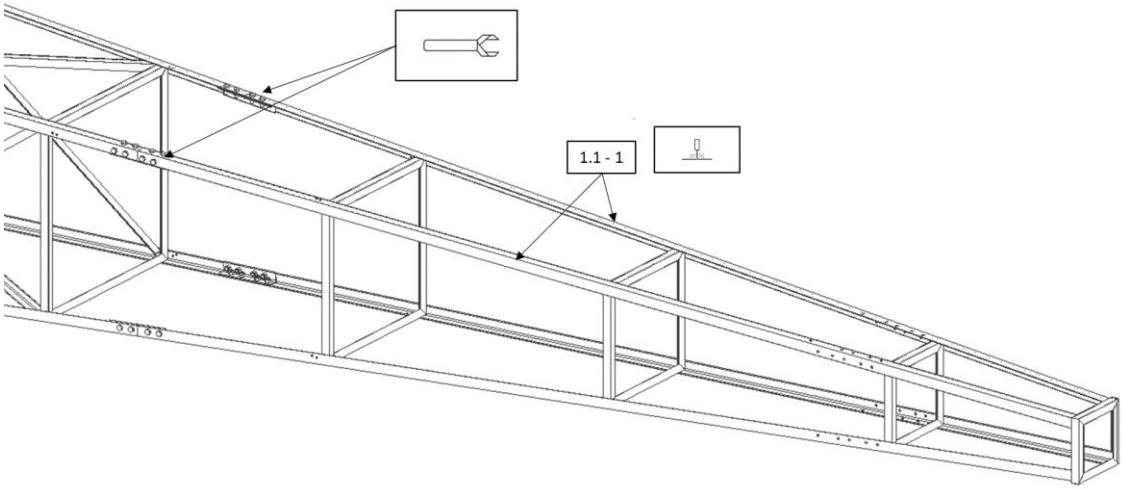
8. **Obere Masthälfte bauen und mit der unteren verbinden**
Damit ist der untere Mast vorerst fertig und der obere Teil kann daran angepasst werden. Dazu werden zuerst die Verbindungsstücke angeschraubt. Im Anschluss werden zwei Längsstreben [1.1-1] für den oberen Teil des Mastes an die Verbindungsstücke geschraubt. Durch das Anbringen des obersten Querstrebenquadrates [1.1-10], können die Längsstreben ausgerichtet werden. Dabei ist darauf zu achten, dass der Winkel zwischen den Längsstreben und den Querstreben eingehalten wird. Ebenso werden die Enden der Längsstreben auf der Innenseite des Querstrebenquadrates platziert. Nach dem Ausrichten wird vorerst punktweise geschweißt.





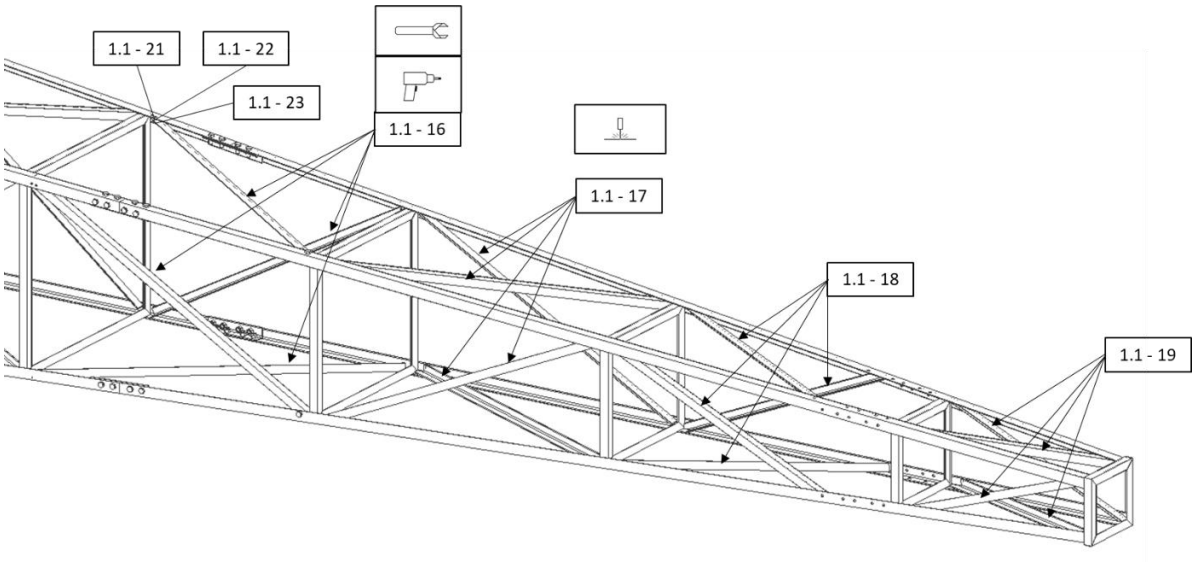
9. Unter Einhaltung der Winkel 3,4 Grad bzw. 86.6 Grad können jetzt die mittleren Querstrebenquadrate [1.1-7], [1.1-8] und [1.1-9] positioniert, ausgerichtet und punktiert werden.

10. Beim Auflegen und Festschrauben der oberen Längsstreben [1.1-1] müssen noch einmal die Winkel genau überprüft werden.



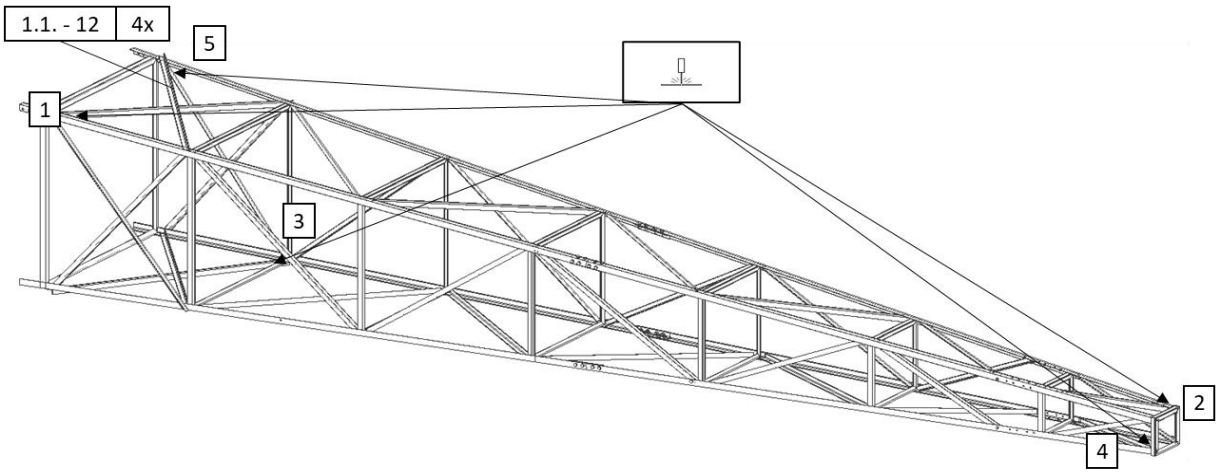
11. **Diagonalstreben ausrichten heften und verschrauben**

Im Anschluss werden die Diagonalstreben aus 30x30x4mm Winkelprofil eingesetzt, ausgerichtet und punktiert. Die Streben [1.1-16] werden nicht verschweißt, sondern verschraubt. Dazu werden diese Streben angelegt und mit ihren bereits vorhandenen Löchern auf den Längsstreben ausgerichtet, mit Schraubzwingen fixiert, markiert und gebohrt.



12. **Mit kurzen Schweißnähten verbinden, Verspannungen vermeiden**

Als letzter Schritt werden alle gehefteten Schweißverbindungen geschweißt. Dabei ist besonders zu beachten, dass immer nur kurze Schweißnähte (20mm bis 35mm) verwendet werden. Das Schweißen wird immer diagonal über den Mast verteilt. Das vermeidet einseitige Spannungen. Der Mast wird dabei von den äußeren Enden nach innen geschweißt, damit das Risiko des Verziehens der Konstruktion minimiert wird.



Außenliegende untere Diagonalstreben verschweißen.

Die vier außenliegenden kreuzenden Diagonalstreben [1.1-12] am unteren Mastsegment werden nun zum Schluss ebenfalls angebracht und festgeschweißt.

1.2 Gondelverbindung

In der Abbildung 13 ist die Gondelverbindung dargestellt. Diese besteht aus einem Rohr, einem dreiteiligen Azimutlager, sowie dem oberen Teil des Mastes. **Dazu ist es zwingend erforderlich, dass der Mast [1.1] vorher gefertigt wurde**. Das Rohr wird auf die innenliegenden Streben montiert und verläuft durch die Deckplatte. Auf den oberen Rahmen ist diese Platte mit kurzen Schweißnähten geschweißt. Sie dient als Führung des Rohres und Lagerfläche für das untere axiale Drucklager. Auf das herausragende Rohr (1) wird das Gondelrohr geschoben.

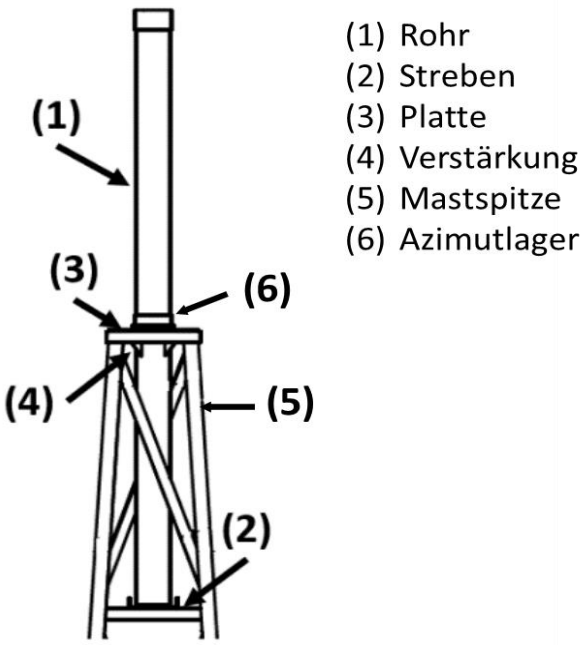


Abbildung 13 – Gondelverbindung

Azimutlager

Genaue Erklärung der Lagerung

Das Azimutlager ist das Verbindungsstück zwischen dem Mast und der Gondel. Die gesamte Lagerung besteht aus drei Gleitlagern. Die drei Lager werden von oben auf das Rohr des Mastes geschoben. Dabei trägt das auf der Mastplatte liegende Axilallager die Gondel und die an ihr montierten Baugruppen. Die beiden auf das Mastrohr geschobenen Lagerhülsen nehmen die radialen Kräfte der Gondel auf. Auf das Rohr (1) wird bei der Montage das Gondelgestell 2.2 gesteckt. Seine Innenseite ist im Bereich der beiden mit dem Mastrohr verklebten Lagerhülsen die Gleitlagerfläche! Sie muss für diesen Zweck im Kontaktbereich geglättet werden. Wenn nötig, müssen Reste einer Rohrschweißnaht sorgfältig entfernt werden. Die obere Deckplatte und die mit kurzen Schweißnähten verschweißten Verstärkungsbleche stabilisieren das Mastrohr.

Das Gondelgewicht liegt auf der Drucklagerplatte. Um die tragende Fläche zu vergrößern, ist unten an das Gondelrohr ein Lagerring geschweißt (4). Dieses untere Lager nimmt die Gewichtskräfte der Gondel auf. Mit dem Mastrohr sind die Radiallagerhülsen verklebt. Diese beiden Lagerbuchsen (5) nehmen die radialen Kräfte auf. Diese radialen Kräfte werden durch Windlasten und einen sich stets verändernden Schwerpunkt der Gondel mit ihren Komponenten hervorgerufen.

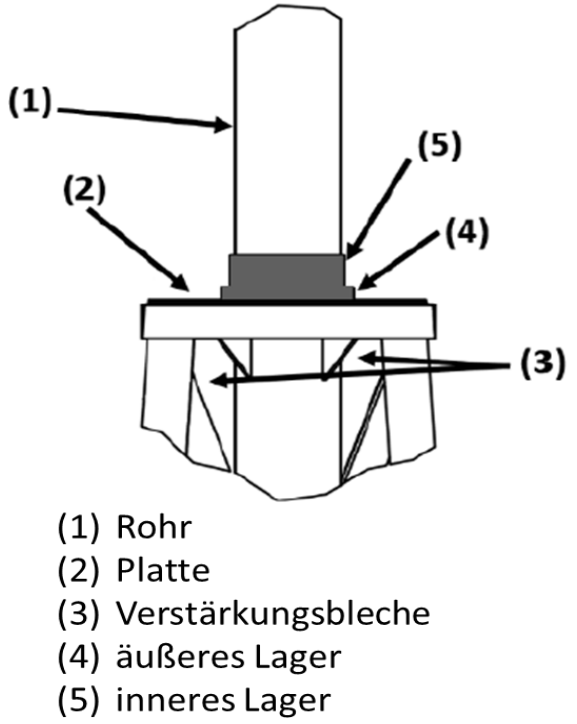


Abbildung 14 - Azimutlager

Fertigung der Radiallager

Die beiden Radiallagerhülsen bestehen aus gewalzten Messing- oder Bronzeblechen. Die Bleche müssen vorher auf den richtigen Durchmesser gewalzt und an der Berührungsnaht verlötet werden.

Dabei müssen sie als exakt runde Rohrhülsen mit einer superglatten Außenoberfläche gefertigt werden.

Wichtig ist ein möglichst kleiner Zwischenraum zwischen innen geglättetem Gondelgestellrohr und dem äußeren Lagerhülsendurchmesser (1/10mm-bis2/10mm Spiel wären ideal). Erst wenn alles genau passt, werden die Lagerhülsen oben und unten mit einem geeigneten Kleber mit dem Mastrohr verklebt. Sollte zwischen den Innenseiten der Gleitlagerbuchsen und dem Mastrohr noch ein Zwischenabstand sein, muss man vor dem Verkleben das Mastrohr auf der gesamten Kontaktfläche mit dünnem Blech – zum Beispiel Aluminiumfolie – umwickeln, bis der Zwischenbereich ausgefüllt ist. Ein geringer Reibungswiderstand der gut geschmierten Lager ermöglicht so leicht eine

Drehbewegung der gesamten Gondel. Diese Drehbewegungen entstehen durch Windkräfte und Wind aus verschiedenen Richtungen auf die Steuer- und Querfahne.
Man kann von außen am Gondelgestellrohr an geeigneten Stellen Schmiernippel anbringen, um alle paar Monate etwas Fett in den Bereich der Gleitlagerhülsen einzupressen.

Werkzeuge

		Metall	SW18	90°			

Material

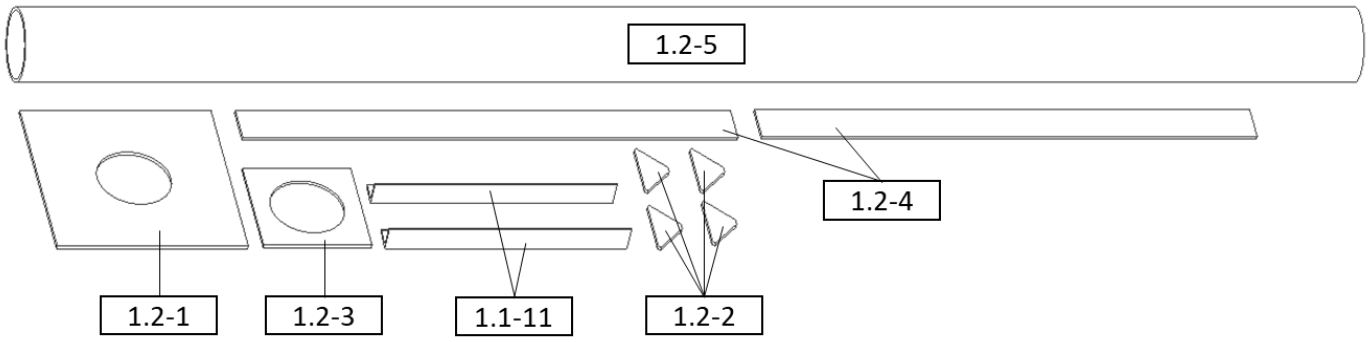
Pos	Rohmaterial	Bezeichnung	Norm	Maße	Menge	Material
1.2 -1	**R - 13**	Platte	EN 10051	300x300x10mm	1	S235
-2	**R - 13**	Platte	EN 10051	65x65x6mm	4	S235
-3		Blech	EN 1652	170x170 x (5–*10*)* mm	1	Messing
-4		Blech	EN 1652	388 x 60/*100* x (4 / *5)* mm	2	Messing
-5		Rohr	DIN2448/1629, DIN EN 10220-1 / 10210 / 10216 / 10297-1	114,3 x (6,3/*8*)** x 2100mm	1	S235
-6		2-Komponen-tenkleber		40ml	1	Epoxidharz

Tabelle 8 - Stückliste 1.2 Gondelverbindung

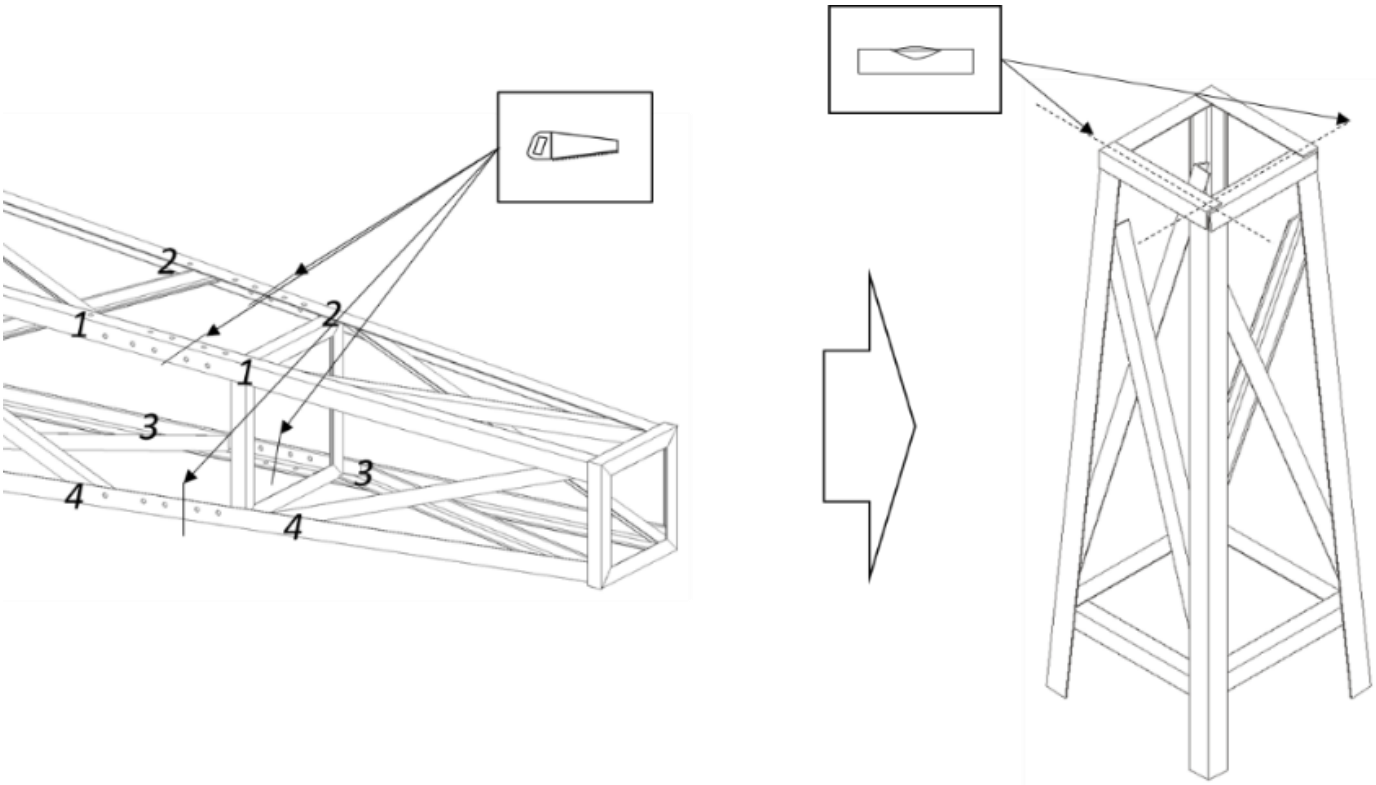
** Das Material für die Druckplatte des Gondellagers [1.2-3] darf zwischen 5mm und 10mm dick sein. Je dicker, desto besser! Dasselbe Blech wird auch für die Drucklager der Steuerfahnenscharniere [3.1-24] gebraucht.*
*** Bei einem Gondelgestellrohr von 139,7 x 8mm muss 4mm Messingblech für die Gleitlagerhülsen eingesetzt werden, bei einem Gondelgestellrohr von 139,7 x 7,1mm kann das Messingblech 5mm dick sein.*

Konstruktion

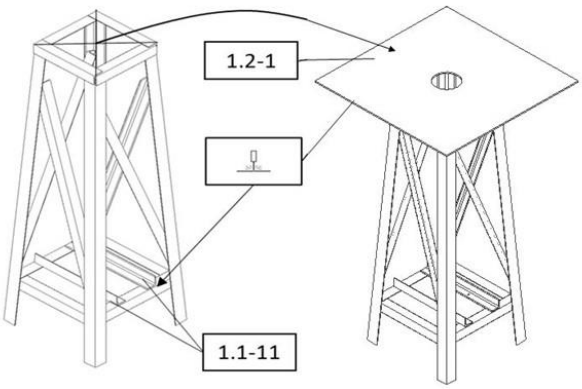
1. Gondellagerteile aussägen und zuschneiden
   Die abgebildeten Bauteile werden zuerst auf Maß gebracht. Beim Ausschneiden des Messing-Drucklagers [1.2-3] ist zu beachten, dass dies zu einem späteren Zeitpunkt auf das Rohr geschoben wird. Dieses Axiallager nimmt die Gewichtskräfte der kompletten Gondel auf. Die Dicke des Bleches [1.2-3] für das Drucklager kann zwischen 5mm und 15mm liegen. Es ist empfehlenswert den Durchmesser für das Loch zuerst etwas kleiner auszusägen, und im Anschluss mit einer Feile auf den Außendurchmesser des Rohrs anzupassen.
   In der Stückliste ist die Dicke der Holzklötze für die Gleitlager der Kolbenstange mit 30mm angegeben. Man kann auch 40mm dicke wählen. Da verlängert die Zeit bis zum nächsten Auswechseln.



2. Im nächsten Schritt wird das obere Ende des Mastes abgesägt. Dazu ist es zwingend erforderlich, dass die Verbindungen vorher ausreichend markiert werden. Dies dient dazu, dass beim Wieder-Zusammensetzen die passenden Positionen zugeordnet werden können. Die Verbindungen bestehen genauso wie die in der Mastmitte (bei ca. 5m) entweder aus angepassten (außen mit einem 7mm- Radius gefeilten) Winkeln (vgl. Arbeitsschritt 7 in Kapitel 1.1) oder aus pro Maststiel jeweils zwei Flacheisen 40mm x 6mm in der Länge der Verbindungswinkel. Danach wird die Mastspitze aufrecht hingestellt und ausgerichtet. Mit Hilfe einer Wasserwaage werden die dargestellten Seiten waagerecht ausrichtet.



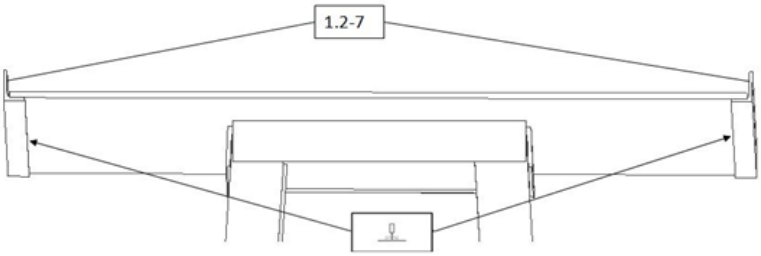
3. **Kopfplatte sehr genau positionieren und festschweißen**
Um den Mittelpunkt der Kopfplatte auszumessen, werden zwei Schnüre diagonal über die oberen Winkel des Mastkopfes befestigt. Damit kann die Platte [1.2-1] genau symmetrisch positioniert werden. Nun muss noch einmal mit Hilfe der Wasserwaage überprüft werden, ob die Platte waagerecht liegt. Ist das nicht der Fall, muss mit kleinen Distanzblechen ausgerichtet werden. Nach der **genauen Positionierung** wird die Kopfplatte punktweise mit dem oberen Rahmen des Mastendes verschweißt.



Die obere Stahlplatte [1.2-1] **muss genau parallel** in der Ebene der Mastfüße unten ausgerichtet sein. Das Rohr muss **genau senkrecht** auf der Platte stehen!
Nur dann kann der Wind später die Anlage mit Hilfe der Steuer- und Seitenfahne leicht ausrichten.
Rohr ausrichten
Als nächstes wird dieses Rohr [1.2-5] von oben eingeschoben und ausgerichtet. Dazu wird mit einer Wasserwaage überprüft, ob das Rohr senkrecht steht und mittels eines Winkels auf Rechtwinkligkeit zur Platte gemessen.
Am unteren Ende steht das Rohr mittig auf den zwei im Rahmen verschweißten Winkeln [1.1 -11].

---

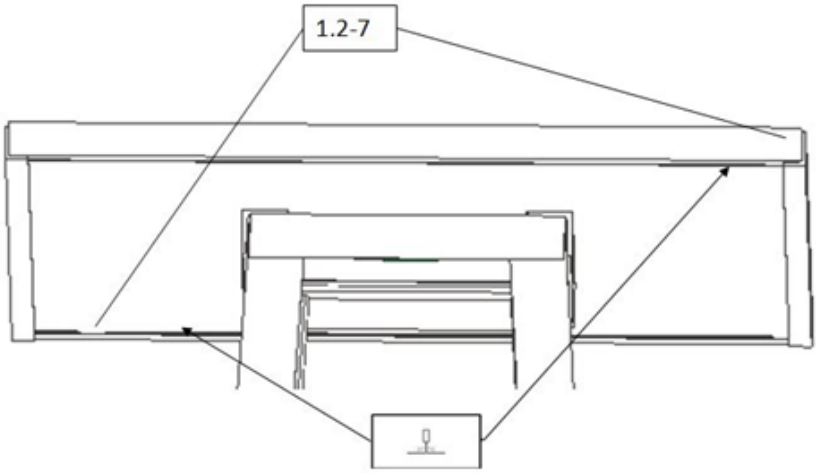
4. Die Kopfplatte des Mastes ist auch die Arbeitsbühne.

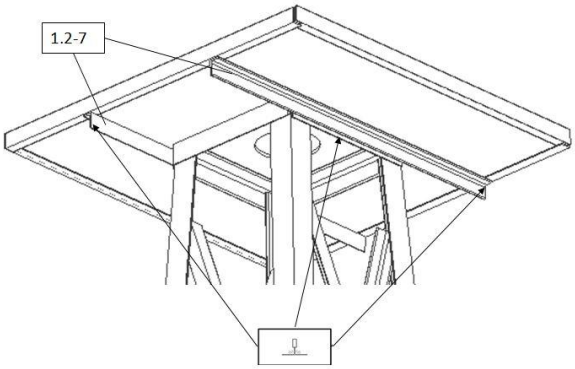


Auf der Arbeitsbühne kann man stehen, wenn oben am Kopf der Windpumpe kontrolliert oder gearbeitet werden soll. Damit man mit den Schuhen nicht ausrutschen kann, werden Winkeleisen am Umfang verschweißt. Ihre hochstehenden Kanten verhindern ein Ausrutschen von der Plattform.

---

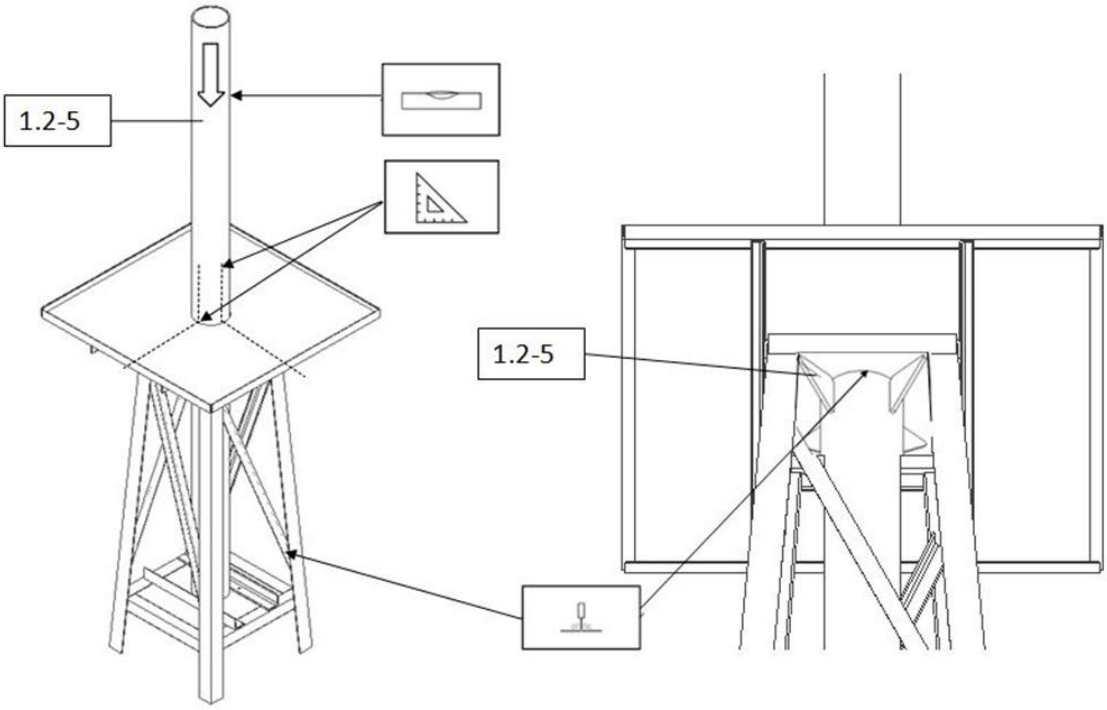
5. Die 4 Winkeleisen [1.2-7] werden am Umfang verschweißt. Zwei weitere werden parallel unter der Platte verschweißt. Sie liegen an den Winkeln des Mastkopfes an





6. **Rohr verschweißen**

Wenn das Rohr ausgerichtet ist, wird es geheftet. Wichtig hierbei ist es, dass das Rohr NUR auf der unteren Seite der Platte geschweißt wird. Oben muss die Fläche plan bleiben, weil dort das Drucklager eng angepasst aufliegt.



Axial- und Radiallager zwischen Mast und Gondel

Drucklager:

Oben auf der Platte liegt das Drucklager [1.2-3] aus Messing (oder Bronze) eng am Rohr [1.2-5]. Deshalb dürfen Schweißnähte rund um das Rohr NUR VON UNTEN geschweißt werden. Im Anschluss werden die Verstärkungsplatten [1.2-2] punktweise befestigt und mit KURZEN Schweißnähten wechselseitig verschweißt. Die Mastspitze kann nun vorsichtig, auf Holzklötzen gestützt, auf die Seite gelegt und die Punktierungen durch kurze Schweißnähte ergänzt werden

Im nächsten Schritt werden die Radiallager gefertigt und danach auf das Rohr [1.2-5] geklebt.
Überlegungen zum Lagerspiel: Das Mastrohr [2.2.1-1] hat einen Außendurchmesser von 114,3mm, der Innendurchmesser des Gondelgestellrohres [2.2.1-1] hat einen Außendurchmesser von 139,7mm und eine Wandstärke von 8mm. Zieht man von 139,7mm (2x8mm) ab, erhält man 123,7mm Innendurchmesser. Der Durchmesserunterschied beträgt 9,4mm. Hat die zu fertigende Messinglagerhülse eine Materialstärke von 2x4mm, wäre noch ein Lagerspalt von 1,4mm. Der ist noch zu groß!

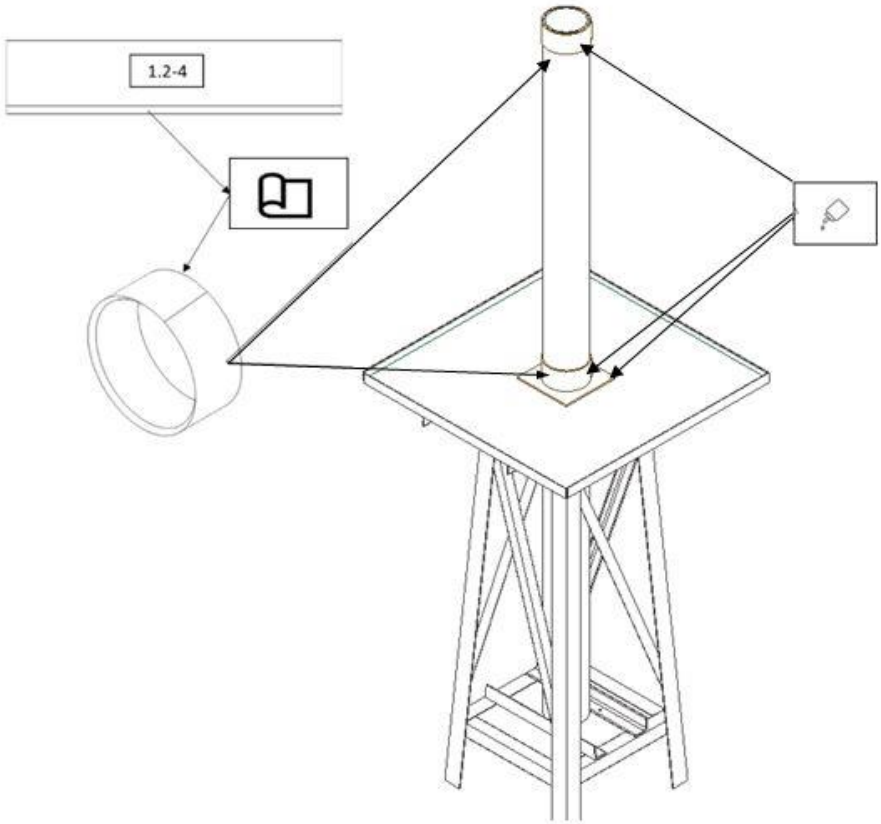
Bei einem Gondelgestellrohr von 139,7 x 8mm muss 4mm Messingblech für die Gleitlagerhülsen eingesetzt werden, bei einem Gondelgestellrohr von 139,7 x 7,1mm kann das Messingblech 5mm dick sein, Der Lagerspalt beträgt dann 11,3mm - 10mm = 1,3mm.
Bemerkung: Es handelt sich bei den ausgewählten Rohren nicht um Präzisionsstahlrohre. Auf keinen Fall dürfen Schweißnähte im Gleitlagerbereich stören. Wenn Schweißnähte vorhanden sind, müssen sie im Gleitlagerbereich abgeschliffen werden. Sollten die Maße nicht präzise sein, muss improvisiert werden
Für den Bau der Lager werden die beiden 4mm dicken Messingbleche [1.2-4] auf den Außendurchmesser dieses Rohres gebogen oder gewalzt. Dabei müssen sie als exakt runde Rohrhülsen mit einer glatten Außenoberfläche gefertigt werden

7. Besonders gut gefertigt werden die Lagerhülsen, wenn man die gelötete Naht schräg zur Rohrachse fertigt (beispielsweise unter einem Winkel von 30°). Das vermeidet eine Schwachstelle des Lagers im Nahtbereich. Das Messingblech muss dann größer gekauft werden. Wenn das Gleitlager den richtigen Außendurchmesser hat, wird die Naht mit Messing- oder Weichlot verlötet.

   Wichtig ist für eine lange Einsatzdauer ist ein möglichst kleiner Zwischenraum zwischen dem innen in den Lagerbereichen geglättetem Gondelgestellrohr und dem äußeren Lagerhülsendurchmesser (1/10mm-bis maximal 2/10mm Spiel für den Lagerspielraum wären ideal – ist aber nur schwer realisierbar).

   Nachdem die Messingplatte als Drucklager [1.2-3] auf die Platte [1.2-1] der Mastspitze positioniert wurde, werden die zu Rohrhülsen gebogenen Messingbleche auf das Rohr geschoben und verklebt. Vor dem Verkleben muss man die Gondel über das obere Mastrohr stecken, um zu testen, ob das Lager ok ist. Die Gondel muss sich leicht drehen lassen. Sie muss trotzdem als Lagerung **ENG** anliegen!

   Man kann diese Lagerhülsen auch gerne 100mm statt 60mm lang anfertigen. Dann werden sie nicht so stark belastet und halten viel länger!



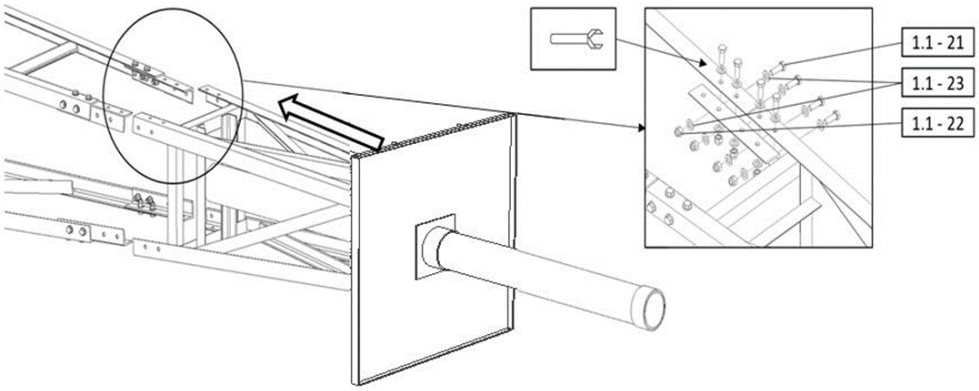
Erst wenn alles genau passt, werden die Lagerhülsen oben und unten mit einem geeigneten Kleber mit dem Mastrohr verklebt.

Sollte zwischen den Innenseiten der Gleitlagerbuchsen und dem Mastrohr noch ein zu großer Zwischenabstand sein, muss man vor dem Verkleben das Mastrohr auf der gesamten Kontaktfläche mit dünner Metallfolie – zum Beispiel Aluminiumfolie – umwickeln,

BIS DER ZWISCHENBEREICH ZWISCHEN DEN LAGERHÜLSEN UND DEM MASTROHR ENG (bis auf 1/10 – 2/10mm) AUSGEFÜLLT IST.

Wer die Lagerhülsen nicht löten will, kann die Hülsen auch einen kleinen Spalt offenlassen. Dabei darf bei den Lagerhülsen ein Spalt von max.½mm offenbleiben.

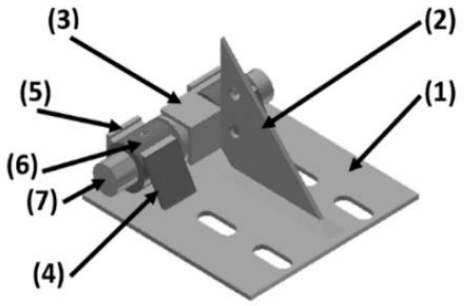
8. Zum Schluss kann die Mastspitze mit den Stielen des Mastes verschraubt werden.



1.3 Mastfüße

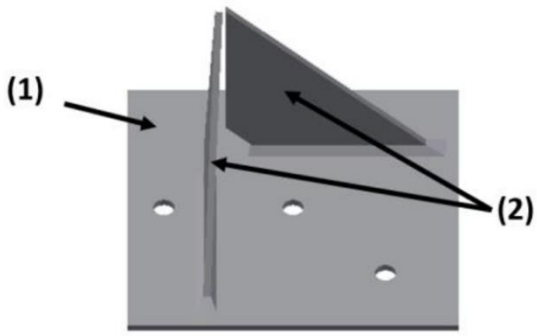
Wichtige Bemerkung: Es ist sehr praktisch, die Grundplatten der Mastfüße mit denen des Fundamentrahmens zusammen zu bohren und mit Körnerschlägen eindeutig paarweise zu kennzeichnen! Dabei ist die spätere Position der L-Profile des Fundamentrahmens auf den Platten zu berücksichtigen. Die Zeichnungsbemaßung garantiert genug Raum für die L-Profile UND die spätere Verschraubung.
Die Mastfüße sind die Verbindungen zwischen dem Mast und dem Fundament. Dadurch wird die Stabilität der gesamten Windkraftanlage realisiert. Des Weiteren erfüllen diese Mastfüße eine zweite Aufgabe. Sie ermöglichen das Aufrichten und Hinlegen des Mastes durch Kippen. Damit beide Funktionen realisiert werden können, werden zwei Mastfüße mit Scharnieren und zwei ohne Scharniere konstruiert. Diese Konstruktion dient als Festlager in dem Fachwerk. In der Abbildung 5 wird dieser Mastfuß dargestellt. Auf die Grundplatte werden zwei Rohrstücke [1.3-7] geschweißt. Zur Befestigung der Rohrstücke werden jeweils eine senkrechte Verstärkung und eine schräge Verstärkung angeschweißt. Die Bolzen [1.3-8] ermöglichen die Kippbewegung zwischen Mast und Mastfuß. Dafür wird ein Bolzen durch die Rohrstücke gesteckt. Am mittleren Rohrstück ist der Mast befestigt. Zusätzlich wird ein Verstärkungsblech angeschweißt. Dieses dient zur Befestigung und Stabilisierung des Mastes nach dem Aufrichten durch eine Verschraubung. Die Grundplatte enthält vier ovale Schraublöcher. Das Scharnierpaar wird vor der Aufrichtung des Mastes am Fundamentrahmen verschraubt.

Auch mit den anderen beiden Mastfüßen wird der Mast mit dem Fundamentrahmen nach dem Aufrichten verschraubt. In Abbildung 16 wird die Konstruktion dargestellt. Diese Mastfüße bestehen jeweils aus einer Grundplatte und zwei angeschweißten Verstärkungswinkeln. Diese Knotenbleche werden mit einem Winkel zwischen 86° und 87° Neigung auf der Grundplatte angebracht. Diese Winkel sind an die Mastneigung angepasst. Zusätzlich hat die Grundplatte Bohrlöcher für die Befestigung am Fundamentrahmen.



(1) Grundplatte
(2) Verstärkungsblech
(3) Mastverbindung
(4) schräge Verstärkung
(5) senkrechte Verstärkung
(6) Rohrstück
(7) Bolzen

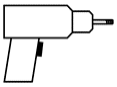
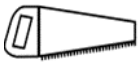
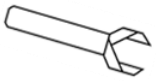
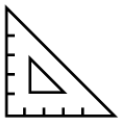
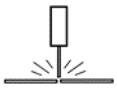
Abbildung 15 – Mastfüße mit Scharnieren



(1) Grundplatte
(2) Verstärkungsblech

Abbildung 16 - Mastfüße ohne Scharniere

Werkzeuge

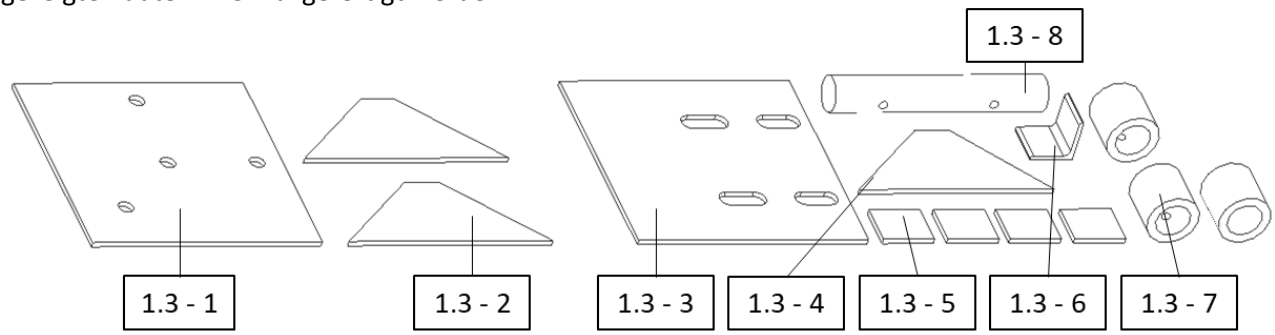
					
	10; 21	Metall	SW 8	90°	

Material

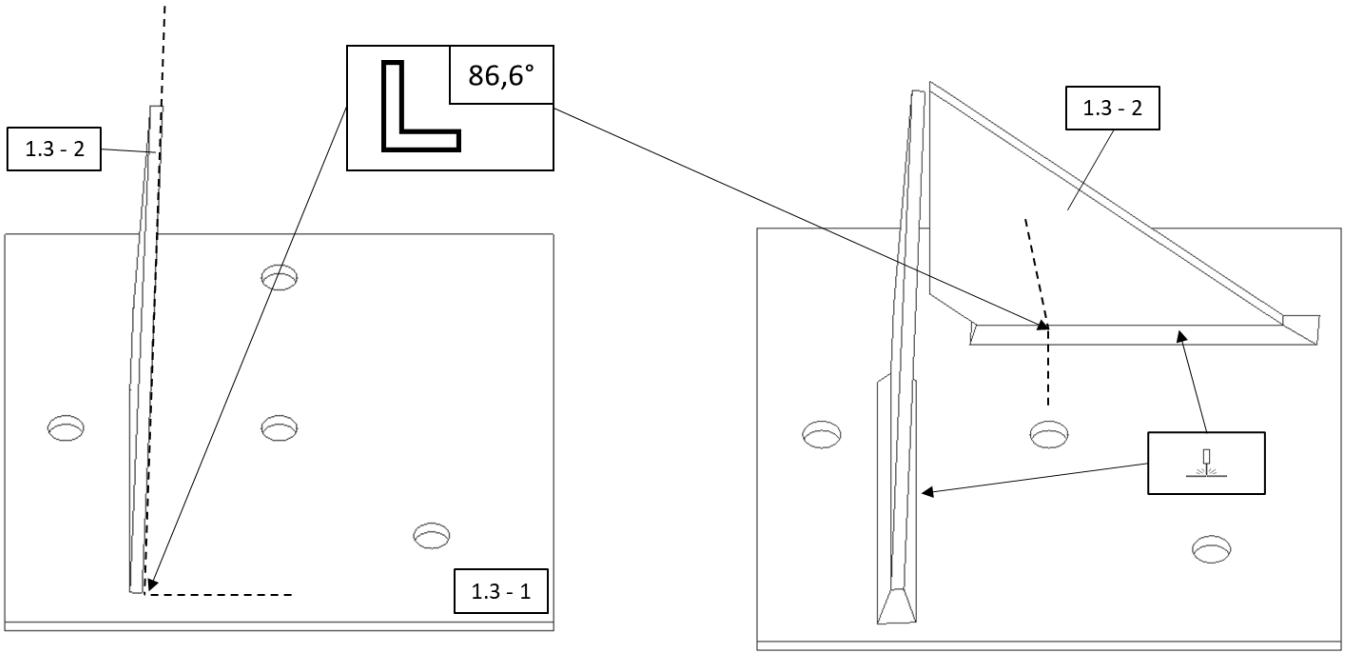
Pos		Rohmaterial	Bezeichnung	Norm	Maße	Menge	Material
1.3	**-1**	**R - 13**	Platte	EN 10051	270x270x6mm	2	S235
	-2	**R - 13**	Platte	EN 10051	240x100x6mm	4	S235
	-3	**R - 13**	Platte	EN 10051	270x270x6mm	2	S235
	-4	**R - 13**	Flach	EN 10051	230x100x6mm	2	S235
	-5	**R - 13**	Platte	EN 10058	60x50x6mm	8	S235
	-6	**R - 22**	L-Profil	DIN EN 10056-1	50x50x5x50mm	2	S235
	-7		Rohr	DIN2448	60,3x10x60mm	6	S235
	-8		Rund	EN 10060	40x250mm	1	S235
	-9	**R - 23**	Flach	DIN EN 10058	120x40x5mm	2	S235
	-10		Madenschraube	ISO 4026	M10x30mm	2	

Tabelle 9 - Stückliste 1.3 Mastfüße

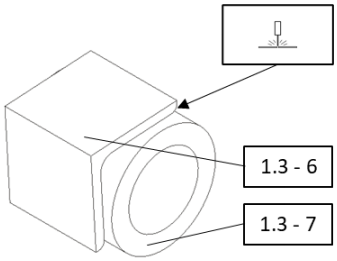
1. Zu Beginn werden alle Teile auf Maß gesägt und gebohrt. Da der Mast insgesamt vier Füße benötigt, muss jedes gezeigte Bauteil zweimal gefertigt werden.

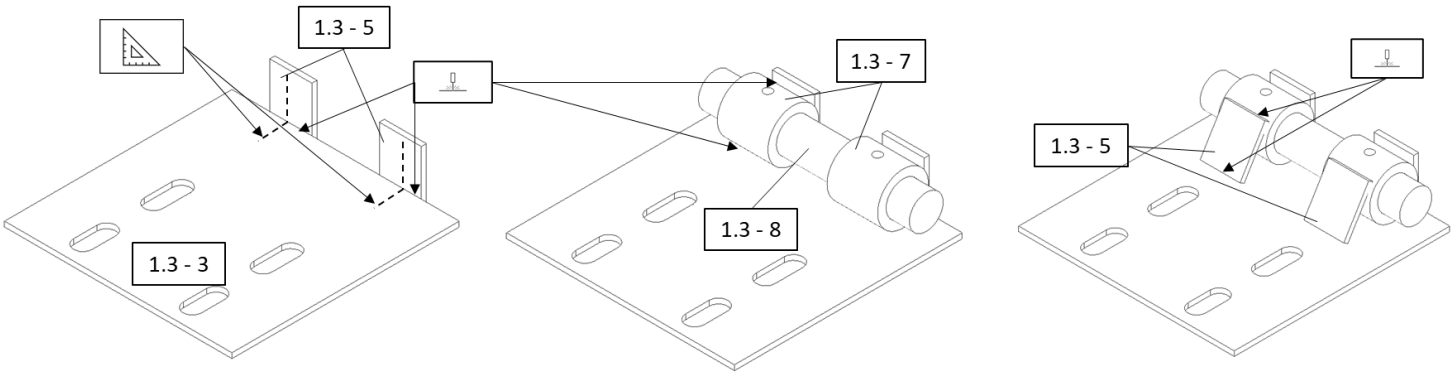


2. Zuerst werden die beiden Füße ohne Scharniere gefertigt. Nach dem Schneiden der quadratischen Platten werden die vorbereiteten Knotenbleche [1.3-2] auf die Grundplatte gestellt und ausgerichtet. Wichtig hierbei ist es, dass die Anordnung der Bohrungen auf der Grundplatte genau in der richtigen Position ist. Des Weiteren müssen die Verstärkungsplatten einen Winkel von ungefähr 86,6° aufweisen. Um diesen Winkel auszurichten, kann die Holzschablone aus dem Kapitel 1.1 verwendet werden.
   Nach dem Ausrichten können die Versteifungswinkel festgeschweißt werden. Mit Hilfswinkeleisen und Schraubzwingen usw. ist sorgfältig und genau auszurichten, <u>auch wenn der später zu fertigende obere Fundamentrahmen mit seinen Kupplungsplatten genau an die am Mast befestigten Fußplatten und deren Bohrungen in direktem Kontakt KOPIERT wird</u>.
   Bis die Schweißnaht vollständig ist, muss wechselseitig in kurzen Abschnitten (30mm – 40mm) geschweißt werden. Zwischen den einzelnen Schweißungen muss Zeit bleiben, damit die Konstruktion abkühlen kann.
   So werden die inneren Spannungen und Verwerfungen minimiert.

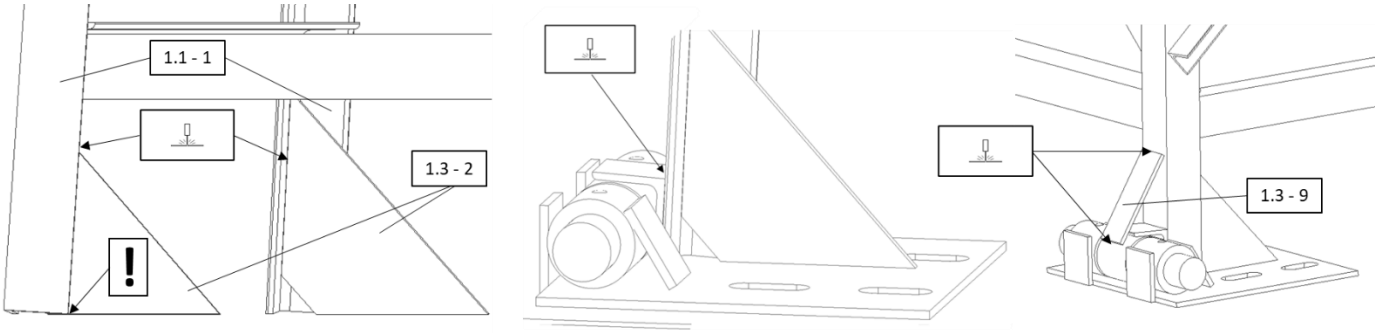


3. Als nächstes werden die beiden Mastfüße mit den Scharnieren gefertigt. Dazu werden die Platten [1.3-5] im rechten Winkel (90°) an die Außenkante der Grundplatte [1.3-3] geschweißt. Danach werden die Rohre [1.3-7] aufgelegt und verschweißt. Hierbei ist auf die GENAUE Ausrichtung der Mittellinien der Bohrungen achten.
Deshalb empfiehlt es sich, die Rohre vorher auf den Bolzen [1.3-8] zu schieben. Da der Bolzen später rein- und rausgeschoben wird, wird so sichergestellt, dass diese Verbindung fluchtet. Der Abstand zwischen den beiden Scharnierrohren sollte 2mm größer sein, als das dazwischen liegende Rohr (vom anderen Teil des Scharniers) lang ist.
Um die nötige Stabilität zu erreichen, wird jeweils eine weitere Platte [1.3-5] schräg an die beiden Rohre geschweißt. Für die Verbindung zum Mast muss das Rohr [1.3-7] mit dem L-Profil [1.3-6] verschweißt werden. Danach wird diese Verbindung zwischen die beiden Rohre auf dem Mastfuß mit dem Bolzen befestigt.

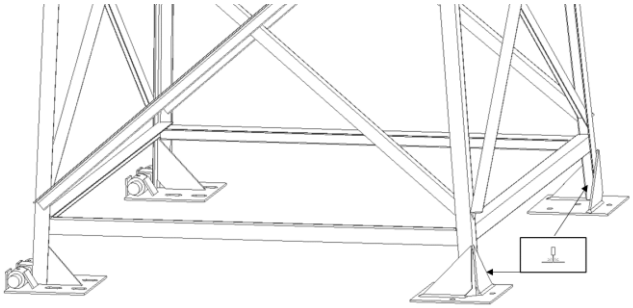




4. Im Anschluss werden die zwei Verstärkungsbleche [1.3-2] an die unteren Enden der Längststreben [1.1-1] des Mastes geschweißt. Dabei ist darauf zu achten, dass der gezeigte Punkt der Längsstreben auf einer Ebene mit den Knotenblechen liegt. Nun kann der Mastfuß an der Längsstreben am Mast ausgerichtet und verschweißt werden. Durch das Herausziehen des Bolzens, kann der Fuß nach Belieben abmontiert werden. Zum Ausrichten der Scharniere ist es hilfreich, ein passendes Rohr oder rundes Vollmaterial über die ganze Länge (ca. 1,7m lang) durch beide Scharniere zu stecken.



5. Im letzten Schritt werden die Mastfüße ohne Scharniere am Mast festgeschweißt. Beim Befestigen ist die dargestellte Anordnung zu beachten. Auch hier ist ein mit Schraubzwingen befestigtes Winkel- oder Flacheisen über den ganzen Abstand zwischen den Füßen hilfreich beim Ausrichten. Vor dem Ausrichten und Festschweißen der Füße am unteren Ende des Mastes kann noch einmal geprüft werden, ob die beiden Abstände diagonal zwischen den Stielen gleich sind. Sollte das nicht so sein, ist hier die letzte Gelegenheit, ein echtes Quadrat zwischen den vier Stielen herzustellen. <u>Egal wie entschieden wird, ausrichten oder nicht, der obere Fundamentrahmen muss zwingend an die Scharniere angepasst werden</u>.



1.4 Pumpgestängelagerung

Die Gestängelagerung dient zum Schutz des 20 m langen Pumpengestänges. Dieses besteht aus Aluminium-Rohren mit 30mm Außendurchmesser.
Durch insgesamt 8 Lagerungen wird eine Knickung verhindert. Abbildung 7 zeigt die Lagerungen. 4 Lager befinden sich überirdisch im Mastbereich und 4 unterirdisch im Brunnen. Auf die Lager 2 und 3 soll in diesem Kapitel genauer eingegangen werden.

Die anderen sind in den zugehörigen Baugruppen zu finden und werden hier nicht weiter betrachtet. Auf Abbildung 8 ist zu sehen, wie das Lager 2 an die Rohrauflage [1.1-11] geschraubt wird. Das Lager 3 wird mittig auf dem 4. Querstrebenquadrat positioniert und verschweißt.

Wir haben Hartholz für die Lager gewählt, weil solche Lager leicht herzustellen sind. Hartholz ist leicht zu beschaffen. Man kann die Lager selbst bauen und leicht austauschen. Am besten eignet sich Kernholz. Die Brinellhärte (Seitenfläche, N/mm²) des Holzes sollte über 35 liegen. (Buche, Hickory, Olivenholz, Eiche, Nussbaum, Bongossi, Robinie, Palisander).Wer es kann und möchte, kann für diese Gleitlager für die Kolbenstange auswählen was er möchte. Sie müssen nur funktionieren.

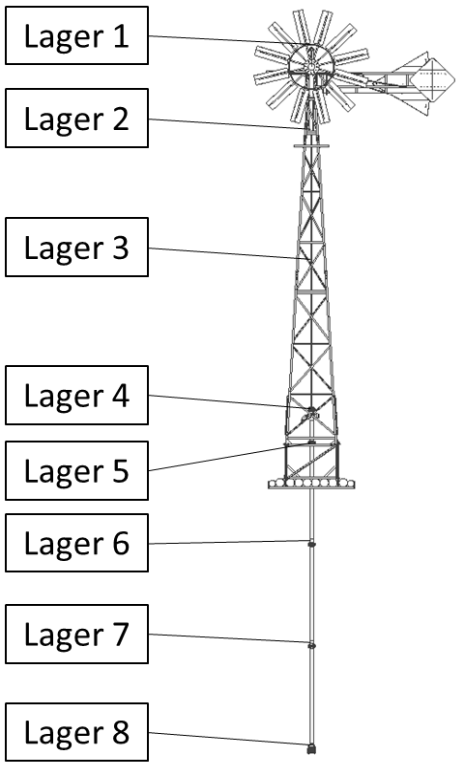


Abbildung 17 – Gestängelagerung der gesamten Anlage

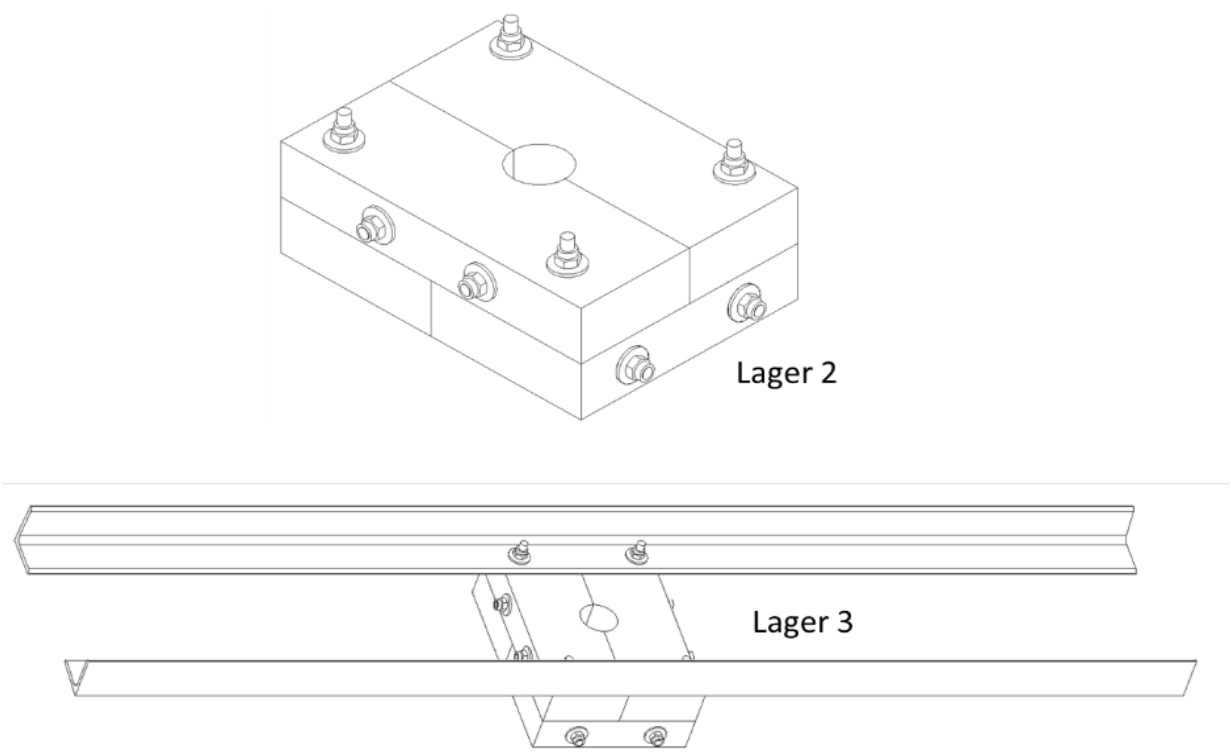


Abbildung 18 – Lager 2 und Lager 3 Gesamtansicht

Werkzeuge

	6,6	Metall Holz	SW 10	

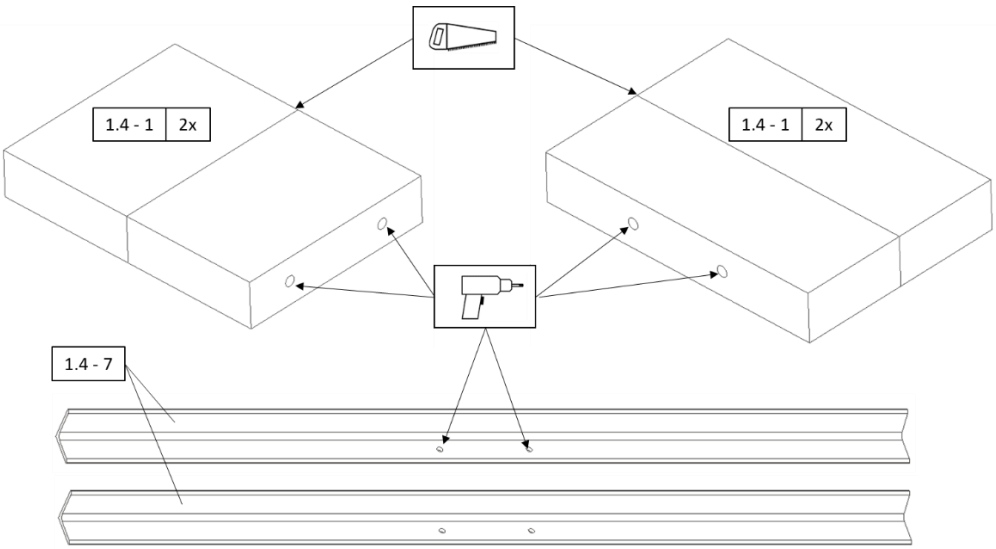
Material

Pos		Rohmaterial	Bezeichnung	Norm	Maße	Menge	Material
1.4	**-1**		Holzklotz		130x180x30mm	8	Hartholz
	-2	**R - 27**	Gewindestange	DIN 976 - A2	M6x90mm	8	S235
	-3	**R - 27**	Gewindestange	DIN 976 - A2	M6x150mm	4	S235
	-4	**R - 27**	Gewindestange	DIN 976 - A2	M6x200mm	4	S235
	-5		Karosseriescheibe	DIN 9021 - A2	6	32	
	-6		Sechskantmutter, Klemmteil	DIN EN ISO 7040	M6-8.8	32	
	-7		L-Profil	DIN EN 10056-1	40x40x4x940mm	2	S235

Tabelle 10 - Stückliste 1.4 Gestängelagerung

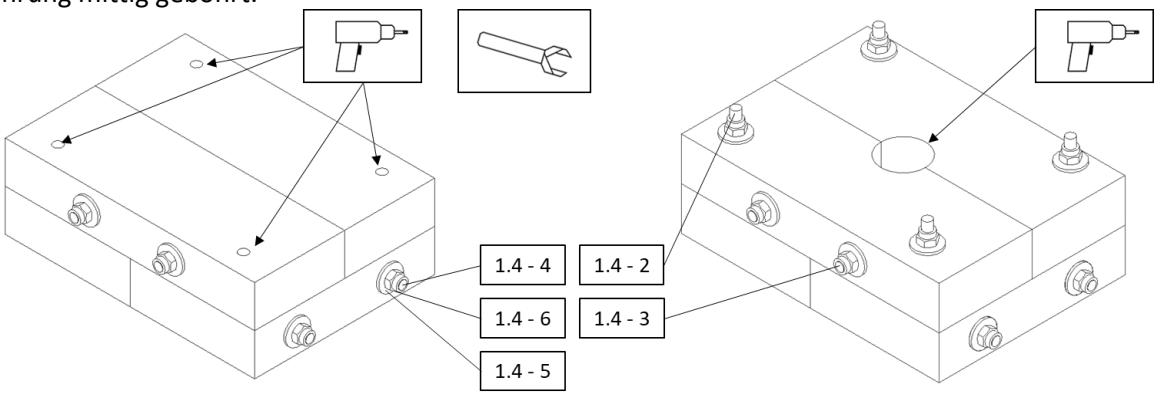
Konstruktion

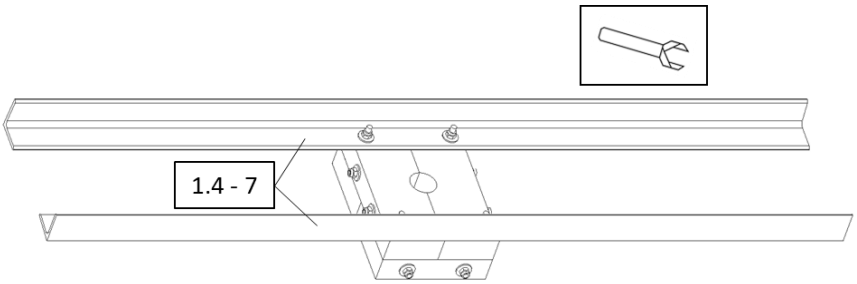
1. Die Gestängelagerung dient zum Schutz des 20 m langen Pumpengestänges. Dieses besteht aus Aluminium-Rohren mit 30mm Außendurchmesser.
   Durch insgesamt 8 Lagerungen wird eine Knickung verhindert. Abbildung 7 zeigt die Lagerungen. 4 Lager befinden sich überirdisch im Mastbereich und 4 unterirdisch im Brunnen. Auf die Lager 2 und 3 soll in diesem Kapitel genauer eingegangen werden.



Die anderen sind in den zugehörigen Baugruppen zu finden und werden hier nicht weiter betrachtet. Auf Abbildung 8 ist zu sehen, wie das Lager 2 an die Rohrauflage [1.1-11] geschraubt wird. Das Lager 3 wird mittig auf dem 4. Querstrebenquadrat positioniert und verschweißt.
Wir haben Hartholz für die Lager gewählt, weil solche Lager leicht herzustellen sind. Hartholz ist leicht zu beschaffen. Man kann die Lager selbst bauen und leicht austauschen. Am besten eignet sich Kernholz. Die Brinellhärte (Seitenfläche, N/mm²) des Holzes sollte über 35 liegen. (Buche, Hickory, Olivenholz, Eiche, Nussbaum, Bongossi, Robinie, Palisander).Wer es kann und möchte, kann für diese Gleitlager für die Kolbenstange auswählen was er möchte. Sie müssen nur funktionieren.

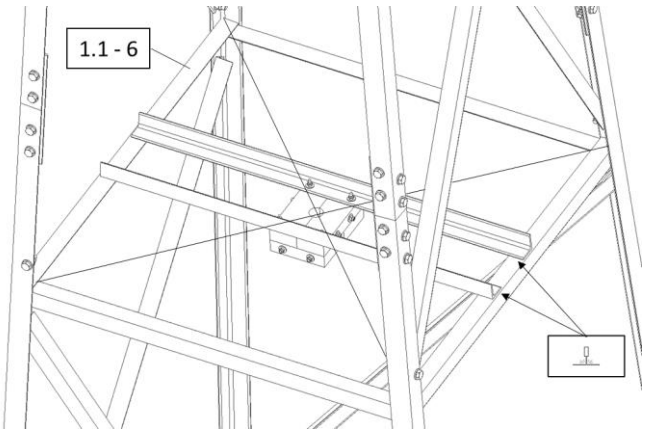
2. Im Anschluss werden die Lagerteile verschraubt. Nachdem das obere und untere Holzstück an den Außenkanten bündig fixiert wurde, werden die Verbindungsbohrungen gebohrt und verschraubt. Als letztes wird die Gestängeführung mittig gebohrt.

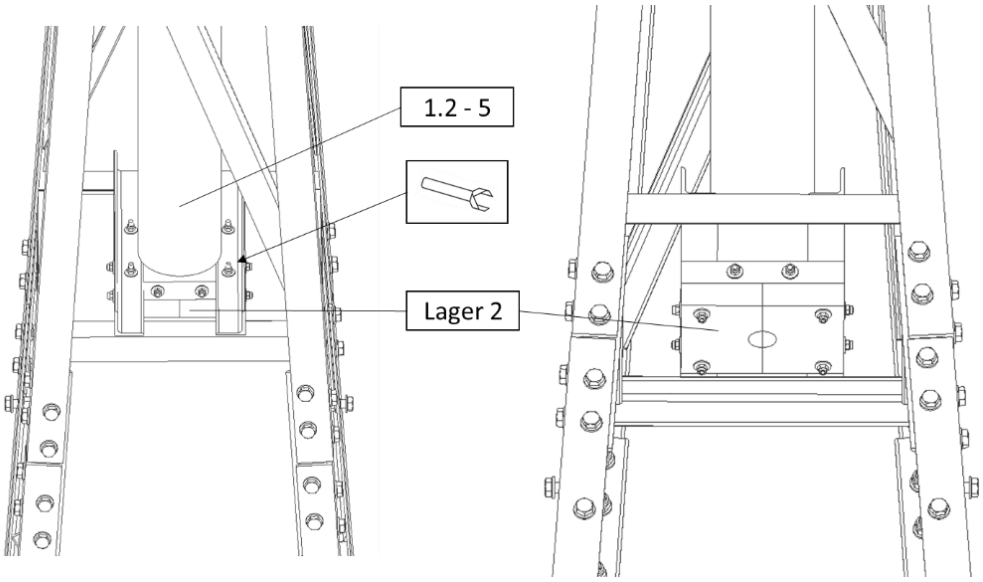




3. Das Lager 3 wird mit den passenden Bohrungen der L-Profile [1.4-7] verschraubt.

4. Um das Lager 3 zu befestigen, empfiehlt es sich, zwei Schnüre diagonal zwischen den Eckpunkten des Querstrebenquadrates [1.1-6] zu spannen. Damit kann der Mittelpunkt des Quadrates ausgelotet werden, um zu gewährleisten, dass das Gestänge der Pumpe mittig verläuft. Nach dem Ausrichten werden die L-Profile am Querstrebenquadrat verschweißt.





5. Als letztes wird das Lager 2 an die L-Profile am unteren Rohrende im Mastkopf [1.2-5] geschraubt.

1.5 Stellschere

Die Stellschere ist eine Schweißkonstruktion und dient als Hilfe zum Aufrichten des Mastes. Sie bildet einen Hebelarm für den unteren Winkelbereich, wenn der Mast mit einem Seil aufgerichtet oder gekippt wird.

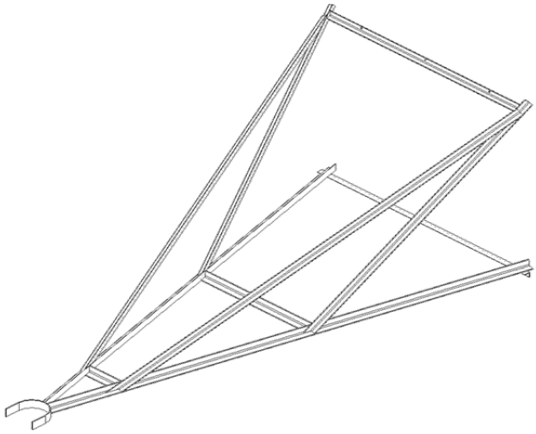


Abbildung 19 - Stellschere gesamt

Die mit dem Mast verschraubte Stellschere wird nur benötigt, wenn zum Aufstellen der KUKATE34 kein Kran oder ähnliches Gerät zur Verfügung steht. In Abbildung 9 ist die Aufstellvorrichtung dargestellt. Die Stellschere selbst ist aus L-Profilen mit den Maßen 50 × 50 × 5 mm gefertigt. Die Länge der Schere beträgt 3m.

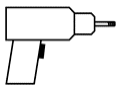
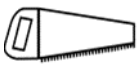
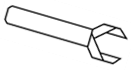
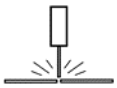
Sie ist neben dem untersten Gurt des Mastes gegenüber den Scharnieren verschraubt. Die vier Arme sind als Verstärkung vorgesehen. Sie sind neben dem zweiten Gurt verschraubt. Die beiden langen Arme sind auf einer Höhe von 2,5m mit der Stellschere verschweißt. Die beiden kurzen Arme sind auf der Höhe von 2m der Stellschere verschweißt. Die Arme bestehen aus 40x40x4mm-L-Profilen.

Das Seil wird zum Aufstellen oben an der Gondel befestigt und über die Seilauflage am oberen Ende der Stellschere gelegt. Die Seilauflage ist aus U-förmig gebogenem Flachprofil gefertigt. Die lichte Weite der Seilauflage beträgt 250mm. Das Aufstellverfahren wird in Kapitel 6 genauer beschrieben. Die Stellschere muss Druckkräfte aufnehmen, die umso größer sind, je kleiner der Kippwinkel ist.

Die ungefähre Größenordnung der Seilzugkräfte für das Aufstellen der KUKATE34 ist im Kapitel 7.13 aufgeführt. Sie beträgt ca. 5000N

Entsprechend muss das Zugseil ausgelegt werden. Wie empfehlen bei 5facher Sicherheit ein Seil mit 25000N Zugfestigkeit bis zum Zerreißen (entsprechend 2,5 Tonnen).

Werkzeuge

				
	11	Metall	SW 16	

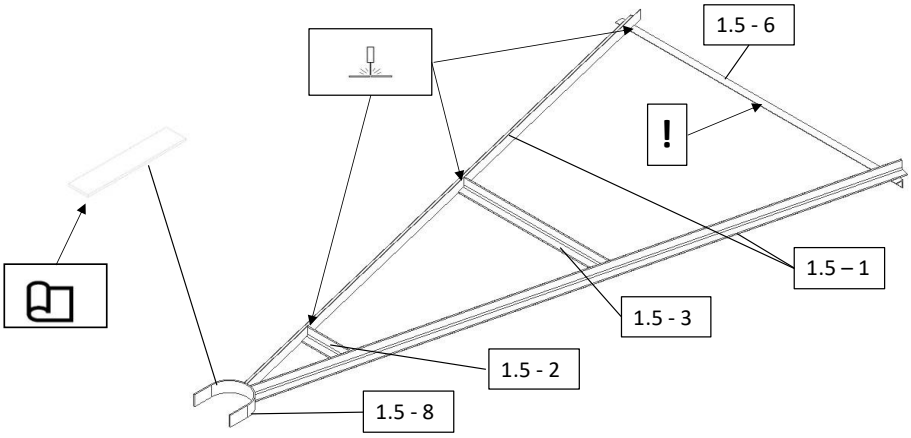
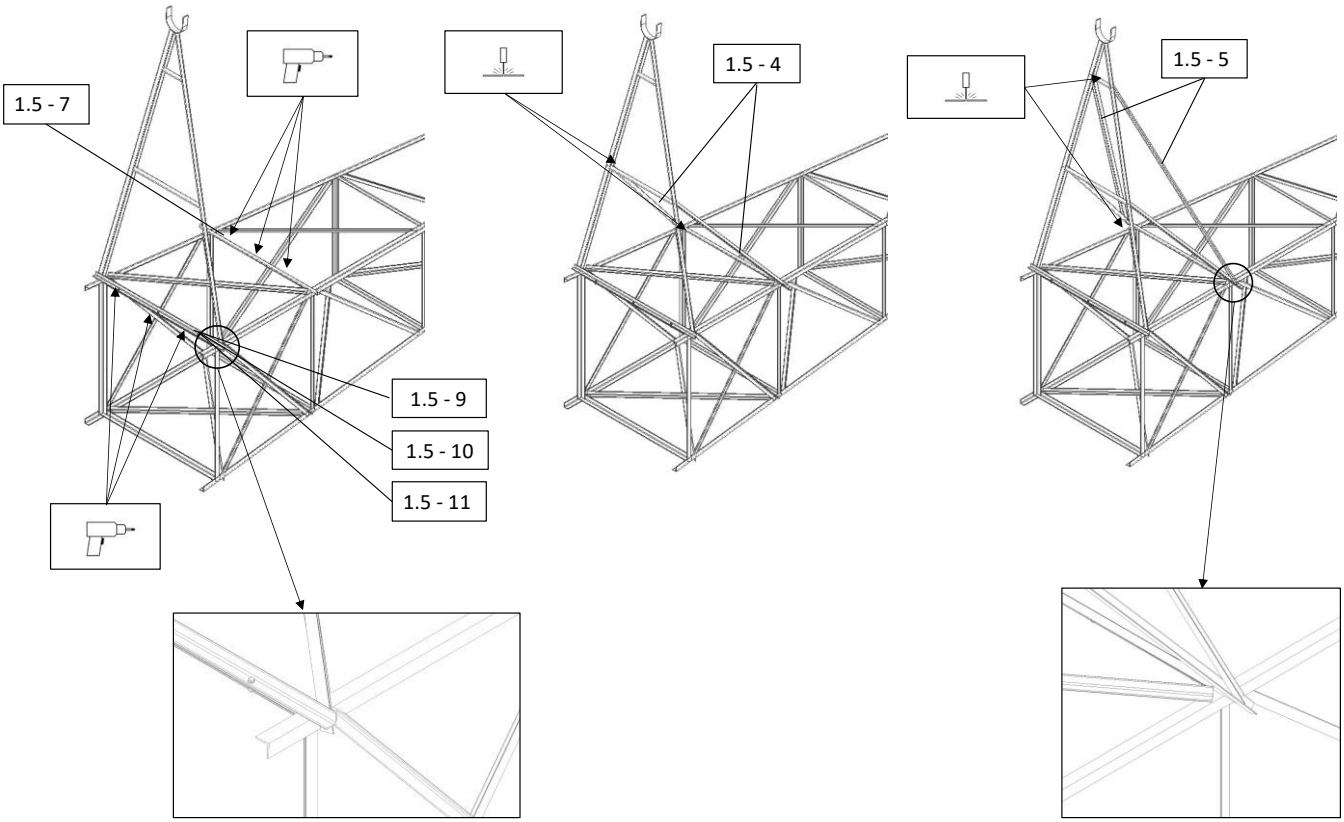
Materialien

Pos	Rohmaterial	Bezeichnung	Norm	Maße	Menge	Material
1.5 -1	**R - 22**	L-Profil	DIN 10056-1	50x50x5x3110mm	2	S235
-2	**R - 22**	L-Profil	DIN 10056-1	50x50x5x405mm	1	S235
-3	**R - 22**	L-Profil	DIN 10056-1	50x50x5x1000mm	1	S235
-4	**R - 28**	L-Profil	DIN 10056-1	40x40x4x1945mm	2	S235
-5	**R - 28**	L-Profil	DIN 10056-1	40x40x4x2942mm	2	S235
-6	**R - 28**	L-Profil	DIN 10056-1	40x40x4x1620mm	1	S235
-7	**R - 28**	L-Profil	DIN 10056-1	40x40x4x1488mm	1	S235
-8	**R - 24**	Flach	DIN EN 10058	300x60x6mm	1	S235

Tabelle 11 - Stückliste 1.6 Stellschere

1. Die unten befindliche Basis der Stellschere aus 50x50x5mm-Winkelmaterial [1.6-6] ist mittig an der Querstrebe des untersten Mastgurtes [1.1.-3] ausgerichtet. Entsprechend der Detailabbildung sind die beiden Stiele der Stellschere symmetrisch auf dem Mast liegend ausgerichtet, mit Schraubzwingen fixiert und dann zusammen mit der U-förmigen Seilauflage am anderen Ende gepunktet.

   Danach sind die beiden Querstreben auf dieselbe Weise wie die untere Basis passend auf die flache Seite der Stielwinkel gelegt und geheftet



2. Ist das fertig, wird mit entsprechenden Hilfsmitteln die Stellschere auf dem Mast aufgerichtet und konstruktionsgemäß positioniert. Das kann beispielsweise mit Hilfe von am Mast und den Stellscheren festgebundenen Holzlatten oder mit Hilfe von Winkelmaterial und Schraubzwingen erfolgen. Jetzt ist die Querstrebe für die Befestigung der vier Arme in der Höhe des zweiten Mastgurtes zu positionieren und die vier Stützarme werden an den beiden Querstreben und der fixierten Basis ausgerichtet und punktiert. Nun sind im ausgerichteten Zustand die erforderlichen Schraublöcher zu bohren. Danach wir die gesamte Stellschere vom Mast getrennt und, damit die Stellschere sich nicht verzieht, sorgfältig **wechselseitig** verschweißt.