

---

# **BACHELORARBEIT**

---

Herr  
**Dino Bellmann**

**Erarbeitung einer Montage-  
und Schweißtechnologie für  
ein Flachbodentankbauwerk**

2011

---

# **BACHELORARBEIT**

---

## **Erarbeiten einer Montage- und Schweißtechnologie für ein Flachbodentankbauwerk**

Autor:  
**Herr Dino Bellmann**

Studiengang:  
**Stahl- und Metallbau**

Seminargruppe:  
**SM07-w1B**

Erstprüfer:  
**Prof. Dr. -Ing. Hübner**

Zweitprüfer:  
**Dipl. -Ing Korth**

Einreichung:  
Brand-Erbisdorf, 28. Oktober 2011

# **BACHELOR THESIS**

---

## **Work out of a assembly and welding technology for a flat- bottomed tank structure**

author:  
**Mr. Dino Bellmann**

course of studies:  
**Steel- and Metalconstruction**

seminar group:  
**SM07-w1B**

first examiner:  
**Prof. Dr. -Ing. Hübner**

second examiner:  
**Dipl. -Ing Korth**

submission:  
Brand-Erbisdorf, 28. Oktober 2011

**Bibliografische Angaben**

Bellmann, Dino

Erarbeitung einer Montage- und Schweißtechnologie für ein Flachbodentankbauwerk

Work out of a assembly and welding technology for a flatt -bottomed tank structure

76 Seiten, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences  
Fakultät Maschinenbau, Bachelorarbeit 2011

**Referat**

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, den detaillierten Montageablauf eines Flachbodentankbauwerkes darzustellen, sowie alle im Behälterbau angewendeten Schweißtechnologien aufzuzeigen und eine Anweisung für ihren Praxisgebrauch zu verfassen.

**Inhaltsverzeichnis**

Inhaltsverzeichnis .....	V
Abkürzungsverzeichnis .....	IX
Abbildungsverzeichnis .....	X
Tabellenverzeichnis .....	X
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Behälterarten .....</b>	<b>2</b>
Festdachtank .....	2
Schwimmdachtank .....	2
Festdachtank mit Schwimmdecke .....	3
Druckbehälter .....	3
<b>1.2 Bauteile .....</b>	<b>4</b>
Boden .....	4
Verankerung .....	5
Mantel .....	5
Versteifungsringe .....	7
Dach .....	8
Dachbleche .....	9
Stützen .....	10
<b>1.3 Bauteilvarianten .....</b>	<b>11</b>
Bodenarten .....	11
Anker .....	12
Mantelausführungen .....	12
Dachausführungen .....	13
Dacheckring .....	14
Dachhaut .....	14
Stützen .....	15
<b>1.4 Montagearten .....</b>	<b>16</b>
Trockenbauweise .....	16
Nassbauweise .....	17
Hubmontage .....	17
Spiralmontage .....	18
<b>2 Baustelleneinrichtung .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 Beschreibung der Baustellensituation .....</b>	<b>19</b>

---

Unterkünfte .....	19
Medienanschlüsse .....	20
Lagerflächen.....	20
Baustraßen.....	20
Transportmittel .....	20
Fundamente .....	21
Lagerung Schweißwerkstoffe .....	21
2.2    Eingesetzte Geräte .....	22
Gerüste .....	22
Krane .....	22
Körbe .....	23
Keile, Knaggen und Schlitzbleche .....	25
Konsolrüstung .....	26
Schweißgeräte und Automaten.....	27
Sonstige Hilfsmittel .....	28
2.3    Arbeits-, Brand- und Gesundheitsschutz .....	30
3    Montagetechnologie für einen Behälter mit freitragendem Kugeldach in .....	
Trockenbauweise .....	31
3.1    Verlegung des Bodens .....	32
3.2    Stellen der Mantelbleche .....	34
3.3    Montage einer Ankerschraube mit Einzelstütze.....	37
3.4    Montage der Beulsteifen und des Eckringes .....	38
3.5    Dachvormontage.....	39
3.6    Dachmontage.....	41
3.7    Mannlochmontage .....	42
3.8    Sonstige Ein- und Ausbauten .....	43
3.9    Temporäre Anbauteile .....	43
4    Schweißplan.....	44
4.1    Zusatzwerkstoffe.....	44
4.2    Vorbereitung.....	44
4.3    Vorwärmen.....	44
4.4    Heftschweißen .....	44
4.5    Schweißen .....	45
4.6    Nacharbeiten .....	45
5    Schweiß- und Trennverfahren.....	46

5.1	Anforderungen an den Schweißer.....	46
5.2	Schweißverfahren .....	47
	Verfahren Nr. 111 - Lichtbogenhandschweißen .....	47
	Verfahren Nr. 121 - Unter Pulverschweißen .....	48
	Verfahren Nr. 136 - MAG Schweißen mit Fülldrahtelektrode.....	49
	Verfahren Nr. 141 - WIG-Schweißen.....	51
5.3	Übersicht Trenn- und Bearbeitungsverfahren.....	52
	Trennschleifen.....	52
	Brennschneiden.....	52
	Plasmaschneiden.....	52
	Kohle-Lichtbogen-Fugenhobeln.....	53
6	Schweißtechnologie eines Flachbodentankbauwerks .....	54
6.1	Schweißen der Randsegmente.....	54
6.2	Schweißen des Bodens .....	55
	Schweißfolge des Bodens.....	55
	Boden-Mantel-Verbindung .....	56
	Details und Anweisungen .....	57
6.3	Schweißen des Mantels.....	59
	Anrichten der Stehnähte.....	59
	Schweißen der Stehnähte .....	59
	Vorbereiten der Rundnähte .....	60
	Schweißen der Rundnähte .....	60
	Details.....	61
6.4	Schweißen der Dachbleche.....	62
	Details.....	62
6.5	Schweißen der Mannlöcher .....	62
6.6	Neuerungen der Gerätetechnik .....	63
7	Zerstörungsfreie Prüfungen .....	66
7.1	Qualifikation Prüfpersonal DIN EN 473.....	67
7.2	Sichtprüfung DIN EN ISO 17637.....	67
7.3	Dichtheitsprüfung - Blasenprüfverfahren DIN EN 1593 .....	68
	Unterdruckprüfung mit Saugglocke.....	68
	Nekalprüfung mit Innendruck .....	69
7.4	Eindringprüfung nach DIN EN 571-1 .....	69

---

7.5	Magnetpulverprüfung nach DIN EN ISO 17638 .....	70
7.6	Ultraschallprüfung nach DIN EN ISO 17640.....	70
7.7	Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen nach DIN EN 1435 ...	71
7.8	Prüfung der Abmessungen nach Punkt 19.12 der DIN EN14015.....	73
7.9	Flüssigkeitsprüfung - Wasserfüllung nach Punkt 19.13 der DIN EN 14015 .....	73
	Bedingungen für die Durchführung nach Punkt 19.13.4 der DIN EN 14015.....	73
	Prüfungen während der Befüllung.....	74
	Füllen nach Punkt 19.13.6 der DIN EN 14015 .....	74
	Prüfung des Dachs (Überdruck) .....	74
	Prüfung der Tankstabilität bei Unterdruck nach Punkt 19.13.8 der DIN EN 14015 .....	74
	Prüfung bei leerem Tank nach Punkt 19.14 der DIN EN 14015 .....	75
8	Resümee .....	76
	Literaturverzeichnis .....	I
	Anlagen.....	III
	Eigenständigkeitserklärung.....	IV



**Abkürzungsverzeichnis**

BGI	Berufsgenossenschaftliche Information und Grundsätze für Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz
BGR	Berufsgenossenschaftliches Regelwerk
BGV	Berufsgenossenschaftliche Vorschrift
DVS	Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren
MAG	Metall aktiv Gas
MT	Magnetpulverprüfung
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
PT	Eindringprüfung
RR	Rutil, dick umhüllt
TDK	Turmdrehkran
UP	Unter Pulver
WIG	Wolfram inert Gas
ZfP	Zerstörungsfreie Prüfung

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Bodenausführungen .....	4
Abbildung 2: Mindestabstände von Mantelblechen .....	6
Abbildung 3: Versteifungsringe im Querschnitt .....	7
Abbildung 4: Einbauarten von Mannlöchern im Tankmantel.....	10
Abbildung 5: Typische Ausführung von Tankdoppelböden .....	11
Abbildung 6: Beispiel für die Ausführung des Dacheckbereichs.....	13
Abbildung 7: Befestigung des Dachbleches am Dacheckring .....	14
Abbildung 8: Befestigung des Dachbleches am letzten Mantelschuss .....	14
Abbildung 9: Einbauvarianten von Mantelstützen .....	15
Abbildung 10: Montagemethoden von Festdachtanks.....	16
Abbildung 11: Schraubenmontage .....	18
Abbildung 12: Einteiliger verblechter Schweißerkorb .....	24
Abbildung 13: Einhängen eines zweiteiligen Schweißerkorbes mit Plane.....	24
Abbildung 14: Anwendung von Keilen und Schlitzblech.....	25
Abbildung 15: Fixierung der Bodenbleche.....	25
Abbildung 16: Befestigung einer Rüstknagge am Tankmantel .....	26
Abbildung 17: UP-Rundnahtschweißgerät.....	27
Abbildung 18: Radiusblech mit Schweißkeramik an Stehnaht .....	28
Abbildung 19: Stehnahtbrücke .....	28
Abbildung 20: Ausführung der Bodenbleche ohne Bodenrandbleche .....	32
Abbildung 21: Ausführung der Bodenrandbleche .....	33
Abbildung 22: Seitenansicht Mantelblech mit Führungsknaggen .....	34
Abbildung 23: Darstellung der Sicherungsmaßnahmen (Skizze nicht maßstäblich).....	36
Abbildung 24: Skizze Sicherungsblech .....	36
Abbildung 25: Ankerschraube mit Einzelstütze (Skizze nicht maßstäblich).....	37
Abbildung 26: Bodenlängs- und -Querplatten .....	55
Abbildung 27: Pilgerschrittverfahren einer Stehnaht .....	59
Abbildung 28: Railtrac der Firma ESAB bei einer Vorführung.....	63
Abbildung 29: BUG-GY-VERT .....	65
Abbildung 30: Skizze einer Saugglocke .....	68
Abbildung 31: Anordnung der Prüfbereiche der Durchstrahlungsprüfung .....	72

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Checkliste Arbeitsschutz.....	30
Tabelle 2: Schweißerprüfungen Verfahren 111 .....	48
Tabelle 3: Schweißerprüfungen Verfahren 121 .....	49
Tabelle 4: Schweißerprüfungen Verfahren 136 .....	51
Tabelle 5: Vergleich von basischen und rutilen Elektroden.....	58

# 1 Einleitung

Ein Behälter ist ein Objekt, das die Aufgabe besitzt, seinen Inhalt von der Umwelt abzuschotten. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, muss er gegenüber seinem Inhalt dicht sein. Gut geeignet für diese Aufgabe war Holz, da früher meist die Speicherung von Wasser oder die Lagerung von Wein die Hauptaufgabe eines Fasses war. Jedoch änderten sich im Laufe der Zeit die zu speichernden Medien sowie ihre Menge stark und es musste eine Anpassung an diese neuen Gegebenheiten erfolgen. In der heutigen Zeit sind meist die Erzeugnisse der Petrochemie in Großbehältern zu lagern. Weltweit werden aus diesem Grund Tanks aus metallischen Werkstoffen erbaut.

All diese Tanks weisen ähnliche Merkmale sowie Bauarten auf. Dank dieser Tatsachen und im Zuge der Vereinheitlichung der europäischen Normen wird eine aktuelle Ausarbeitung benötigt, welche alle relevanten Informationen für einen Montagebetrieb beinhaltet. Bereits 1970 wurde eine Ingenieurshausarbeit mit ähnlichem Ziel verfasst. Da sich seit ihrer Veröffentlichung die technischen Gegebenheiten und Regelungen grundlegend geändert haben, musste eine Anpassung an den jetzigen Stand der Technik erfolgen. Diesen aktuellen Stand widerspiegelt die bereits veröffentlichte, jedoch in Deutschland noch nicht bauaufsichtlich zugelassene, DIN EN 14015:2004. Sie bildet die Grundlage dieser Bachelorarbeit und beinhaltet neben den Berechnungsgrundlagen detaillierte Angaben über die Herstellung eines Flachbodentankbauwerkes.

Im Auftrag der IMO Leipzig GmbH findet die Erarbeitung einer Montage- und Schweißtechnologie für ein Flachbodentankbauwerk statt. Ziel ist es, einen detaillierten Montageablauf darzustellen sowie alle im Tankbau angewendeten Schweißtechnologien aufzuzeigen und eine Anweisung für ihren Praxisgebrauch zu verfassen.

Ausgehend von der gängigen Praxis wurden an einigen Stellen bestimmte Beispiele ausgewählt, um diese besser erklären zu können. Eine Erläuterung aller möglichen Varianten wäre zu umfangreich und hätte einen weitaus höheren Arbeitsaufwand zu Folge. Somit soll diese Arbeit einen Überblick über die Möglichkeiten des Tankbaus geben, muss bei Verwendung jedoch an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden.

## 1.1 Behälterarten

Im Wesentlichen gibt es vier verschiedene Tankarten. Diese sind Fest-, Schwimmdachtank und eine Mischung aus beiden, der Festdachtank mit Schwimmdecke, sowie als Viertes Druckbehälter. <sup>[1]</sup>

Somit stellt sich die Frage, warum keine einheitliche Bauweise angewendet wird. Entscheidend ist das zu lagernde Medium. Je nach Art gibt es unterschiedliche Sicherheitsbestimmungen und Anforderungen an das zu verwendende Material sowie an die Bauweise. Weiterhin spielt der Emissionsausstoß eine Rolle.

### **Festdachtank**

Wie der Name schon aussagt, handelt es sich hier um einen Behälter mit starrer Dachkonstruktion. Das bedeutet, dass Mantel und Dach unlösbar miteinander verbunden sind.

Ein großer Nachteil dieser Bauart in Bezug auf Sicherheit und Umwelt ist, dass „beim Befüllen die mit Lagergut gesättigte bzw. teilgesättigte Gasphase verdrängt wird, und beim Entleeren Gas / Luft angesaugt werden muss, um einen entstehenden Unterdruck auszugleichen.“ <sup>[2]</sup> Einen ähnlichen Vorgang beschreibt die sogenannte „Tankatmung“. „Sie bezeichnet den Stoffaustausch von in Bevorratungs- bzw. Lager- oder Kraftstofftanks eingelagerten Flüssigkeiten oder Gasen mit der Umgebungsluft, hauptsächlich bedingt durch Temperatur- und Druckschwankungen in der Tankumgebung.“ <sup>[2]</sup>

Zu beachten ist, dass bei Überschreitung der technisch zulässigen Unter- und Überdrücke der Tank geschädigt werden kann.

### **Schwimmdachtank**

Bei dieser Tankvariante ist das Dach nicht fest mit dem Tankmantel verbunden, sondern schwimmt dank Luftkammern auf der Oberfläche des Füllmediums. Es passt sich so dem jeweiligen Füllstand an. Dies hat den Vorteil, dass kein Luftzwischenraum existiert und somit keine Unter- oder Überdrücke ausgeglichen werden müssen. Ebenfalls findet keine Tankatmung statt, was sich sehr positiv auf den Emissionsausstoß des Tanks auswirkt.

Klarer Nachteil dieser Variante ist jedoch die aufwendige Fertigung des Schwimmdaches, die nur in einer Werkshalle stattfinden kann. Anwendung findet diese Tankart hauptsächlich bei Produkten mit hohen Dampfdrücken, wie z.B. Ottokraftstoffen oder Rohöl. <sup>[2]</sup>

---

<sup>1</sup> Wikipedia Tanks (Behälter)

<sup>2</sup> Wikipedia Tankatmung

**Festdachtank mit Schwimmdecke**

Er vereint die Eigenschaften von beiden oben genannten Tankarten. In den meisten Fällen wird auf einen bereits bestehenden Schwimmdachtank zur Emissionsminderung ein Festdach installiert. <sup>[2]</sup>

**Druckbehälter**

Sie werden für die Lagerung oder den Transport von Flüssiggasen benötigt. Aufgrund ihres Anwendungsbereiches besitzen sie im Gegensatz zu den Flachbodenbehältern meist eine andere Form, z.B. Kugelform zur Lagerung oder als Tankwagen für den Transport. Da diese Gruppe dem AD2000 Regelwerk unterliegt, ist sie nicht Bestandteil dieser Arbeit.

## 1.2 Bauteile

Trotz verschiedener Bauweisen kommen bei allen Behälterarten die gleichen Hauptbaugruppen zum Einsatz. Diese sind Verankerung, Boden, Mantel, Beulsteifen, Eckring und Dach.

### Boden

Der Boden eines Tanks besteht aus einer kreisförmigen, großen Platte, welche auf der Baustelle aus mehreren Einzelblechen zusammengesetzt wird. Tankböden, die einen Durchmesser  $\leq 12,5$  m besitzen, dürfen ohne Bodenrandbleche gefertigt werden. Bei mehr als 12,5 m Durchmesser sind Randbleche zu verwenden. <sup>[3]</sup> Siehe Abbildung 1

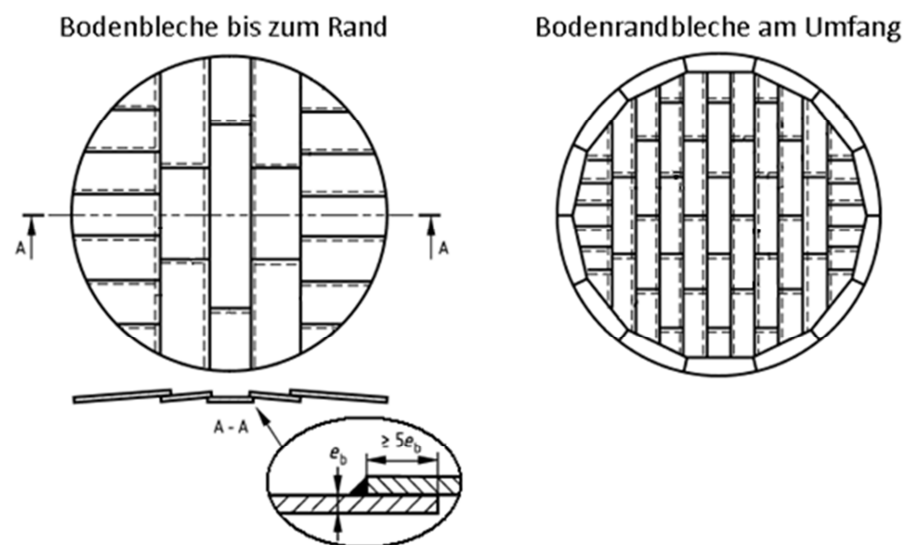


Abbildung 1: Bodenausführungen <sup>[4]</sup>

Die Radialnähte der Bodenrandbleche sind als voll durchgeschweißte Stumpfnähte auszuführen. <sup>[5]</sup> Aufgrund dieser Tatsache ist es gängige Praxis, permanente oder temporäre Unterlagsbleche zu verwenden. Falls diese gleichzeitig als Badsicherung dienen, müssen sie nicht entfernt werden. <sup>[6]</sup> Weiterer Vorteil der Unterlagsbleche ist, dass ein Eindringen der Isoliermasse (Teer, Bitumen) in die Schweißnaht während des Schweißprozesses verhindert wird.

Falls nicht vom Besteller oder Konstrukteur anders angeordnet, sind alle Bodenbleche mit einer Überlappung auszulegen und mittels Kehlnaht zu verschweißen. Die Überlappung der Bodenbleche darf minimal die fünffache Blechdicke betragen, weiterhin ist, wenn vorhanden,

<sup>3</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 8.3.1 Auslegung, S.41.

<sup>4</sup> DIN EN 14015:2004, 8.2.4 Werkstoffe, Bild 1-3, S.40.

<sup>5</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 8.4.4 Herstellung, S.42.

<sup>6</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 18.3.2 Bodenrandbleche, S.92.

das Bodenrandblech um mindestens 60 mm vom Bodenblech zu überdecken.<sup>[7]</sup> Weiterhin gilt das bei Überlappung von drei Blechen einen Mindestabstand von 300 mm zu jeder anderen gleichartigen Überlappung oder zur Innenseite des Mantelschusses einzuhalten ist.<sup>[8]</sup> Handgeschweißte (111), teilmechanische (114, 131, 135 und 136) und vollmechanisch (121) geschweißte Kehlnähte sind mindestens zweilagig auszuführen.<sup>[9]</sup>

### **Verankerung**

Tankverankerungen sollen das Abheben von Mantel und Bodenrandblech von der Gründung verhindern. Wann dies auftreten kann, ist unter Punkt 12 Tankverankerungen und Anhang G der DIN EN 14015:2004 nachzulesen.

Um Ihre Aufgabe zu erfüllen, sollten die Anker in Abständen von höchstens 3 m und möglichst gleichmäßig am gesamten Umfang verteilt angeordnet sein. Weiterhin wird empfohlen, keine Vorspannung auf Ankerschrauben oder -bänder aufzubringen, damit diese nur dann wirksam werden, wenn am Tankmantel eine Abhebekraft einwirkt. Vor Inbetriebnahme des Tanks sollte durch geeignete Maßnahmen sichergestellt werden, dass sich Ankerschrauben oder -bänder nicht lockern oder über einen längeren Zeitraum ihre Wirkung verlieren.<sup>[10]</sup>

### **Mantel**

Der zylindrische Stahlblechmantel eines Tanks besteht aus vielen im Radius des Tanks gebogenen Einzelblechen. Diese werden schussweise zusammengesetzt und als Ring verschweißt.

Bei allen Arten, Druckbehälter ausgenommen, wird die Stärke der Mantelbleche nach dem aus der Stapelhöhe resultierenden statischen Druck der Füllflüssigkeit und dem eventuell vorhandenen inneren Überdruck bemessen.<sup>[11]</sup> Somit ist ersichtlich, dass die benötigte Materialstärke nach oben hin abnimmt. Durch Verwendung hochfester Feinkornstähle versucht man in den unteren Schüssen ebenfalls Material und Gewicht einzusparen. Zu beachten ist dennoch, dass unabhängig vom verwendeten Werkstoff in keinem Fall die Dicke eines Mantelschusses die des jeweils darüber liegenden Schusses unterschreitet, ausgenommen hiervon ist der Bereich des Dacheckrings.<sup>[12]</sup> Die korrekte Montagereihenfolge ist unbedingt einzuhalten.

---

<sup>7</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 8.4.1 Herstellung, S.42.

<sup>8</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 16.6 Bodenbleche, S.84.

<sup>9</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 18.3.3 Bodenbleche, S. 92.

<sup>10</sup> DIN EN 14015:2004, 12.3.2 Querschnittsfläche, S.58.

<sup>11</sup> Vgl. Brandt, Sigurd / Mrosek, Werner, Ingenieurhausarbeit, Magdeburg 1970, S. 5.

<sup>12</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 9.1.7 Auslegungs- und Prüfspannung, S. 45.

Weiterhin sind alle Schüsse senkrecht zueinander anzuordnen, alle senkrecht ausgeführten Schweißnähte müssen die in gezeigten Kriterien erfüllen und die Verbindungsnahte des Mantels (vertikal oder horizontal) müssen als Stumpfnähte erfolgen. <sup>[13]</sup>

„Der Abstand zwischen Außenseite des Mantelbleches und Außenkante der Boden- oder Bodenrandbleche,  $l_d$ , darf 50 mm nicht unterschreiten und 100 mm nicht überschreiten.“ <sup>[14]</sup>  
Ebenfalls muss der Mindestabstand zwischen den Vertikalstößen des untersten Schusses und den Verbindungsstößen der Bodenrandbleche zehnmal größer sein als die Dicke des untersten Schussbleches ( $e_1$ ).

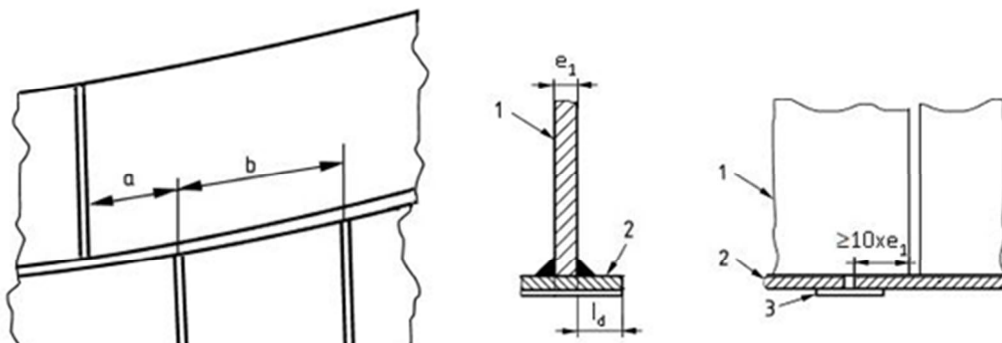


Abbildung 2: Mindestabstände von Mantelblechen <sup>[15+16]</sup>

#### Legende

- 1 Mantelblech
- 2 Boden- / Bodenrandblech
- 3 Unterlage / Schweißbadsicherung

a – Mindestabstand vertikaler Schweißnähte in angrenzenden Mantelschüssen

Mantelbleche mit einer Dicke  $\leq 5$  mm 100 mm

Mantelbleche mit einer Dicke  $> 5$  mm 300 mm

b – Mindestabmessung eines Mantelbleches in Umfangsrichtung

$b \geq 1$  m

<sup>13</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 9.5 Mantelverbindungen, S. 52.

<sup>14</sup> DIN EN 14015:2004, 8.3.3 Auslegung, S.42.

<sup>15</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 9.1.8 Auslegungs- und Prüfspannung, Bild 6, S.46.

<sup>16</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 8.2.4 Werkstoffe, Bild 3, S.41.



## Versteifungsringe

Beulsteifen sind im Radius des Tanks gebogene Winkel oder Profile zur Stabilisierung des Tanks. Gerade im Montagezustand weisen sie große Bedeutung auf. Es besteht die Möglichkeit sie a) als Walzprofil oder gekantetes Profil, b) geschweißtes Profil oder c) als eine durch Schweißung miteinander verbundene Kombination der Profile a) und b) herzustellen. Zu sehen in Abbildung 3<sup>[17]</sup>. Weiterhin sind sie außen rund oder polygonal auszuführen.<sup>[18]</sup>

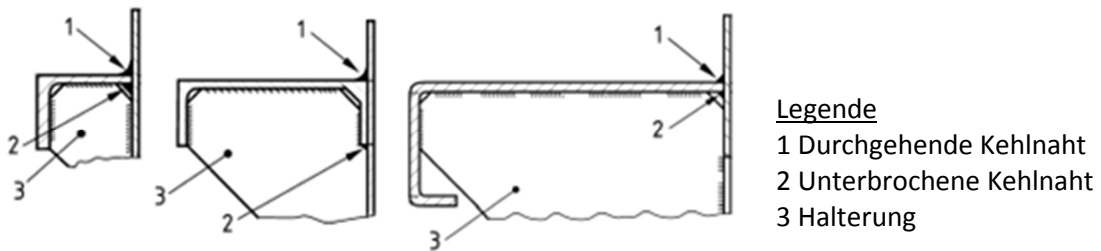


Abbildung 3: Versteifungsringe im Querschnitt<sup>[17]</sup>

Offene Tanks müssen mit einem Hauptversteifungsring ausgestattet werden, um bei angreifenden Lasten die Rundheit des Tanks sicherzustellen.

Je nach Art des Daches und der Auslegung des Behälters können oder müssen noch zusätzliche Beulsteifen verbaut werden. Dies wird z.B. erforderlich, wenn die Hauptversteifung den Tank über seine vollständige Höhe stabilisiert. Nun müssen zusätzliche Steifen im Wesentlichen das Beulen des Tankmantels verhindern. Weiterhin können die zusätzlich eingesetzten Versteifungen die Rundheit des Tankmantels unter Wind- und / oder Unterdruckbelastung über die komplette Höhe des Tanks sicherstellen.<sup>[19]</sup>

Je nach Besteller des Behälters werden die Ringe auf der Außen- oder Innenseite angebracht. Können sich auf den Versteifungen Flüssigkeitsansammlungen bilden, sind diese mit Ablauföffnungen zu versehen. Auf der Innenseite werden die Öffnungen ebenfalls benötigt, um die Bildung von Luftpolstern unter den Profilen zu verhindern.<sup>[20]</sup>

Die Verbindung der Oberseite der Beulsteife mit dem Tankmantel muss als durchgehende Kehlnaht erfolgen. Auf der Unterseite hingegen ist eine unterbrochene Schweißnaht möglich.

<sup>17</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, Anhang J, Bild J.1, S.180.

<sup>18</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 9.3.1.5 Versteifungsringe, S.48.

<sup>19</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 9.3.1.3 – 9.3.1.4 Versteifungsringe, S.47-48.

<sup>20</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 9.3.1.10 Versteifungsringe, S.48.

## **Dach**

Aufgrund der verschiedenen Tankarten findet hier eine Unterteilung statt. Mögliche Bauarten für das Dach sind:

- Freitragendes Kegel- oder Kugeldach mit Tragkonstruktion,
- Freitragendes Kegel- oder Kugeldach ohne Tragkonstruktion (Membrandach),
- Dach mit Stützen und
- Schwimmdach.

Die Bauteile des freitragenden Kegel- oder Kugeldachs mit Tragkonstruktion in Abhängigkeit von der jeweiligen Konstruktion sind Kronring, Sparren, Pfetten oder Wechsel, Windverbände und Dachhaut. Hinzu kommt beim Dach mit Stützen die Stützkonstruktion, welche verschiedenartig aufgebaut sein kann. Sie besteht möglicherweise nur aus einem Walz- oder Hohlprofil oder aber auch aus einem Mast unterschiedlichster Bauweise.

Wie der Name schon sagt, wird bei Membrandächern auf eine Tragkonstruktion und Dachbleche als äußere Haut verzichtet. Stattdessen kann eine aus "hochreißfestem, beidseitig kunststoff-beschichtetem Polyestergewebe" bestehende Membran eingesetzt werden.<sup>[21]</sup> Sehr häufig wird diese Variante bei Biogasanlagen angewandt. In Abhängigkeit von der Konstruktion ist sie mit oder ohne Mittelmast umzusetzen.

---

<sup>21</sup> Biogas-Infoboard, Biogas richtig speichern, PDF, S. 1.

## **Dachbleche**

Die Anordnung der Dachbleche ist generell vom Auftraggeber abhängig. Von einem Festdachtank mit freitragendem Kugeldach ausgehend besteht die Möglichkeit, Dachbleche auf ähnliche Art wie Bodenbleche anzuordnen. Ebenfalls ist die Verwendung von bereits zugeschnittenen Blechen, welche von Sparren zu Sparren reichen und mit ihrer fertigen Dachform an eine Apfelsinenschale erinnern, eine häufig angewandte Methode. Im Laufe der Zeit hat sich keine der genannten Varianten herauskristallisiert. Somit ist eine Schlussfolgerung, welche Variante häufiger genutzt wird, nicht möglich.

"Die Befestigung der Dachhaut erfolgt mittels einer durchlaufenden Kehlnaht am Dacheckring des Tanks. In Abhängigkeit von dem zu lagernden Medium kann oder muss diese als Reißnaht ausgeführt werden. In diesem Fall dürfen die Dachbleche nicht mit der Tragkonstruktion des Dachs verbunden werden und die Reißnaht sollte möglichst dünn ausgeführt werden, um im Fall einer Überbeanspruchung das Abreißen des Daches zu erleichtern." <sup>[22+23]</sup>

"Bleche müssen sofern nicht anders festgelegt mit einer Überlappung von mindestens 25 mm verlegt und an der Außenseite mit durchlaufender Kehlnaht verschweißt werden. Weiterhin sollten die Bleche so überlappend angeordnet werden, dass das jeweils oberste Blech unter dem darunter liegendem Blech liegt, um das Eindringen von Kondenswasser zu verhindern. Je nach Tankinhalt kann es erforderlich sein, die Überlappungsverbindung beidseitig zu schweißen oder die Verbindung als Stumpfstoß auszuführen." <sup>[24]</sup>

---

<sup>22</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 10.3.2 Dacharten, S.53.

<sup>23</sup> DIN 4119 Teil 1, 6.3.4.8 Ausführung der Schweißnähte, S.6.

<sup>24</sup> DIN EN 14015:2004, 10.3.5 Dachbleche mit Tragkonstruktion, S.53.

## Stutzen

Stutzen dienen als Kontrollöffnungen oder sind Anschlüsse für Medienleitungen. Ihre Größe, der Einbauort sowie die zu verwendende Einbaumethode sind vom Auftraggeber vorgegeben. Zum Einbau ist zu sagen, dass nur Stutzen die einen Außendurchmesser von  $< 80$  mm besitzen als aufgeschweißte Anbauteile ausgeführt werden dürfen und keine zusätzlichen Verstärkungen erforderlich sind, insofern Tabelle 20 der DIN EN 14015 eingehalten wird. Alle darüber liegenden Größen sind mit dem Flächenersatzverfahren einzubauen. Eine Erläuterung des Flächenersatzverfahrens befindet sich unter Punkt 1.3 Bauteilvarianten – Stutzen. Weiterhin ist der Mantelbereich, welcher sich um den Ausschnitt des Aufschweißstutzens befindet, auf Dopplungen zu prüfen.

Der Mindestabstand zwischen den Stutznähten und der nächstliegenden Kante oder Schweißnaht muss mindestens 100 mm betragen. Lässt sich eine Überschneidung mit einer Mantelnaht nicht vermeiden, sind unter Punkt 13.7.2 der DIN EN 14015 Angaben zu finden, unter welchen Bedingungen Stutzen dennoch eingeschweißt werden dürfen. Bei der Verwendung von Einsetzblechen muss die Schweißnahtvorbereitung für Stumpfnähte vollständiges Durchschweißen garantieren und ist vor Beginn zu prüfen. Weiterhin dürfen sich keinerlei Bindefehler innerhalb der Stumpfnähten befinden und der Übergang zu den Mantelblechen ist im Verhältnis 1:4 abzuschrägen. Die Kehlnähte der Verstärkungsbleche müssen 70% der Dicke des Verstärkungsblechs entsprechen oder 14 mm stark sein, je nachdem welcher der Werte kleiner ist. Wird eine Mantelstumpfnäht von dem eingesetzten Verstärkungsblech verdeckt, ist diese zu glätten und einer 100%igen Durchstrahlungsprüfung zu unterziehen.

Wird ein Stutzen im Mantel als Mannloch genutzt, muss er einen Mindestinnendurchmesser von 600 mm besitzen, sofern nicht anders abgesprochen. Es wird bei den Verstärkungsblechen zwischen zwei der Einbauarten unterschieden. Möglich ist a) eine eingepasste Ausführung mit Stumpfnähten oder b) eine Überlappung der Bleche und Befestigung mittels Kehlnaht, wie in Abbildung 4<sup>[25]</sup> zu sehen ist.

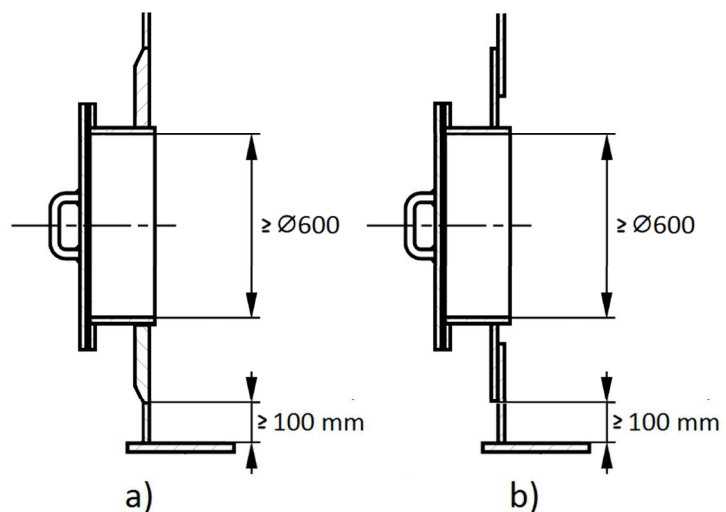


Abbildung 4: Einbauarten von Mannlöchern im Tankmantel<sup>[25]</sup>

<sup>25</sup> Vgl. DIN EN 14015, Bild 9 Typische

## 1.3 Bauteilvarianten

Aufgrund der unterschiedlichen Einsatzorte und -zwecke sowie Auftraggeber gibt es bei der Ausführung der jeweiligen Hauptgruppe verschiedene Varianten.

### Bodenarten

In Abhängigkeit von Ihrer zukünftigen Verwendung werden Tankböden als Einzelböden ausgeführt, wobei hier die Annahme gilt, dass der Boden vollflächig auf der Gründung aufliegt. oder als Doppelboden. <sup>[26]</sup> Im Falle einer Leckage verhindert der Doppelboden im Gegensatz zum Einzelboden, dass das Lagergut ungehindert in die Gründung sowie das darunter liegende Erdreich einsickern kann. Eine gleichzeitige Leckage von beiden Böden ist sehr unwahrscheinlich. Zusätzlich eröffnet der Einsatz eines Doppelbodens dem Betreiber eine bessere Kontrolle für mögliche für Undichtheiten des Bodens. Diese kann auf unterschiedliche Arten erfolgen, siehe Anhang H 2.3 Leckageüberwachung der DIN EN 14015. <sup>[27]</sup> Da es aufgrund unterschiedlicher Gründungen nicht immer möglich ist, den vollständigen Tankboden zu stützen, wird dieser alternativ von Baustahlprofilen oder Stahlbeton unterstützt.

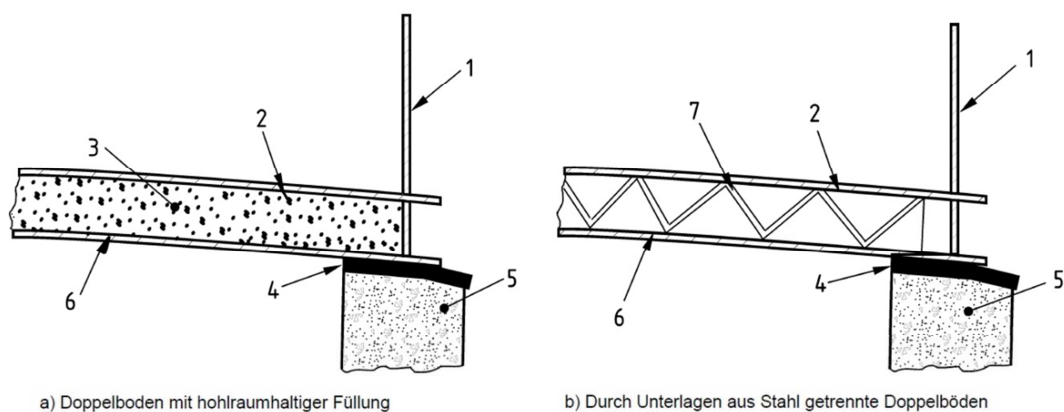


Abbildung 5: Typische Ausführung von Tankdoppelböden <sup>[28]</sup>

#### Legende

- |                        |                     |
|------------------------|---------------------|
| 1 Tankmantel           | 5 Gründungsring     |
| 2 Oberer Boden         | 6 Unterer Boden     |
| 3 Sand, Kies           | 7 Stahlkonstruktion |
| 4 Elastische Unterlage |                     |

<sup>26</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 8.1 Allgemeines, S.39.

<sup>27</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, H.2.1 Allgemeines, S.168.

<sup>28</sup> DIN EN 14015:2004, Bild H.1 – Typische Ausführung von Tanks mit Doppelböden, Bild 8, S. 169.

### **Anker**

Für Lagertanks nach DIN EN 14015 sind verschiedene Ausführungen der Verankerung möglich. Je nach Anwendungsfall sollte die am besten geeignete Variante ermittelt und gewählt werden. Mögliche Verankerungen sind Ankerverband, Ankerschraube mit Einzelstütze sowie Ankerschraube mit durchgehendem Stützring. Nach Vereinbarung können auch andere Ausführungen in Betracht gezogen werden.

### **Mantelausführungen**

Aufgrund der üblichen Fertigungsweise unterscheidet man bei Tankmänteln nur zwischen dem verwendeten Material, unlegierte oder nichtrostende Stähle, sowie der Dimension der Mantelbleche.

Zusätzlich wird das Teller-Tasse-Prinzip angewandt. Das bedeutet, dass ein Tank aus zwei Schalen besteht: Einer inneren, der Tasse, die den eigentlichen Tank darstellt und einer äußeren, dem Teller. Der Teller verhindert, dass bei Leckage der inneren Tankwand das Füllmedium in die Umgebung gelangt.

Wann dies oder ein Auffangwall zum Einsatz kommt, sowie welche generellen Anforderungen gestellt werden, „ist in einer Reihe von Bestimmungen zu den verschiedenen Lagergütern enthalten.“<sup>[29]</sup>

---

<sup>29</sup> DIN EN 14015:2004, B.3.1 Auffangvorrichtungen, S.121.

## Dachausführungen

Bauteilvarianten sind aufgrund der verschiedenen Tankarten stark begrenzt. Es wird beim Festdachtank allerdings zwischen a) dem freitragenden Kegel- oder Kugeldach mit oder ohne Tragkonstruktion oder b) einem Dach mit Stützen unterschieden. <sup>[30]</sup>

Abhängig von der Konstruktion werden das Dachgespärre und / oder die Dachhaut anders ausgeführt. Des Weiteren kann die Konstruktion des Daches mit oder ohne Dacheckring erfolgen. Aufgrund der tragenden Funktion des Eckringes kann dieser nicht einfach weggelassen werden. Seine Funktion übernimmt stattdessen ein waagerechter Ringträger. Welche der beiden Varianten schlussendlich eingesetzt wird, ist von der druckbeanspruchten Fläche der Mantel-Dach-Verbindung abhängig, welche den schraffierten Bereich in Abbildung 6 darstellt.

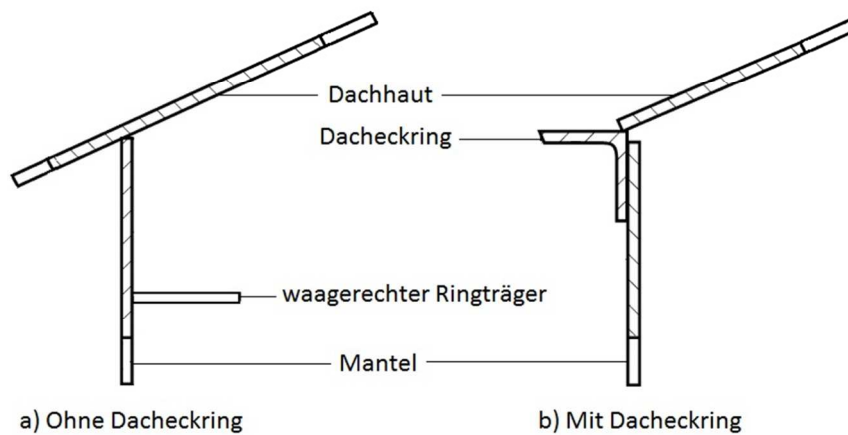


Abbildung 6: Beispiel für die Ausführung des Dacheckbereichs <sup>[31]</sup>

<sup>30</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 10.2. Dacharten, S.52.

<sup>31</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 10.5 Druckbeanspruchte Fläche der Mantel-Dach-Verbindung, S. 55.

## Dacheckring

Der Dacheckring ist in der Regel ein Winkel- oder Flachprofil, was an oder auf den Mantel geschweißt wird. In den folgenden Abbildungen sind mögliche Montagevarianten der Verbindung von Dach und letztem Mantelschuss zu sehen. In Abbildung 7 wird die Dachhaut am Dacheckring befestigt. In der darauffolgenden Abbildung 8 am oberen Mantelschuss.

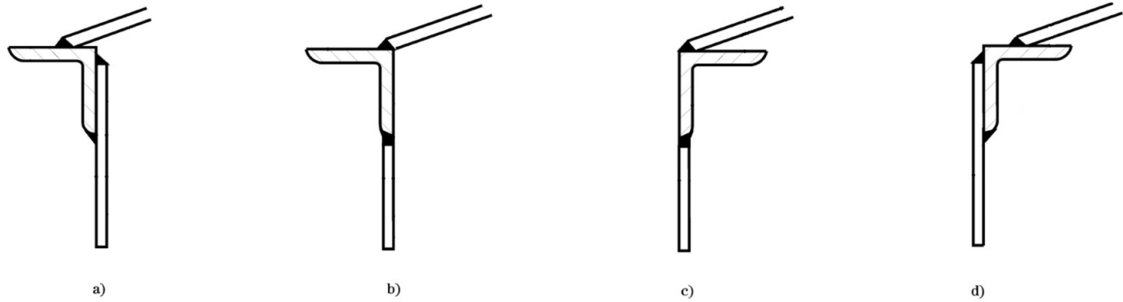


Abbildung 7: Befestigung des Dachbleches am Dacheckring<sup>[32]</sup>

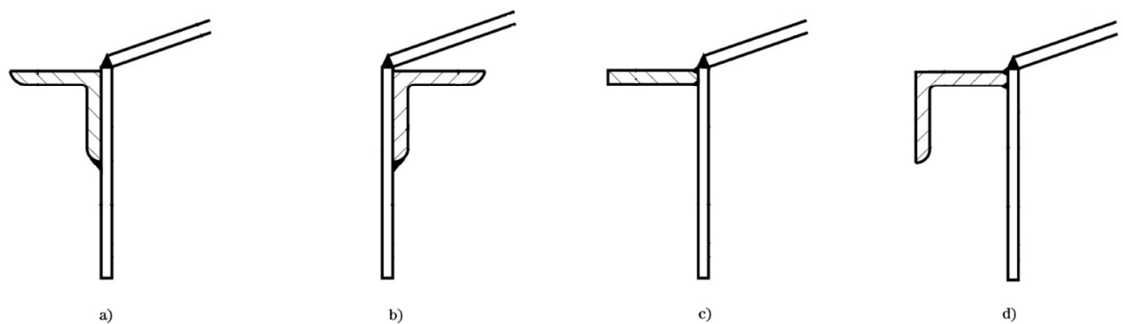


Abbildung 8: Befestigung des Dachbleches am letzten Mantelschuss<sup>[33]</sup>

## Dachhaut

Unterschiede bei der Dachhaut bestehen im Wesentlichen nur beim Zuschnitt der Bleche. Möglich ist eine ähnliche Vorgehensweise wie bei den Bodenblechen oder eine Anlieferung als fertig zugeschnittene Streifen.

<sup>32</sup> DIN EN 14015:2004, Bild K.3 – Verbindungen zwischen Dach und oberem Mantelschuss: Dach am Dacheckring angeschweißt, S.185.

<sup>33</sup> DIN EN 14015:2004, Bild K.4 – Verbindungen zwischen Dach und oberem Mantelschuss: Dach am oberen Mantelschuss angeschweißt, S.186.



## Stutzen

Bei Stutzen wird generell zwischen Stutzen im Behälterdach und Stutzen an beliebigen Stellen im Tankmantel und -boden unterschieden. Bei Stutzen im Dach müssen Mannlöcher einen Innendurchmesser von mindestens 500 mm besitzen. Rettungsöffnungen im Dach müssen, wenn sie erforderlich sind, einen Durchmesser von minimal 600 mm besitzen.

Weitere Variationen gibt es bei der generellen Ausführung der Stutzen, mit Einsetz- oder Verstärkungsblech und der Art ihres Einbaus, was unter Punkt 1.2 Bauteile - Stutzen zu finden ist.

Unter dem Flächenersatzverfahren versteht man den Einbau mit verstärktem Einsatzblech (a), die Benutzung eines dickeren Stutzens (b), der mindestens um das Vierfache seiner Dicke ( $e_n$ ) über das Mantelbleche heraussteht oder die Verwendung eines stärkeren Mantelbleches. Als Alternative zum Flächenersatzverfahren kann ein Stutzen mit stärkerer Wandung verwendet werden, der auf beiden Seiten des Mantels um die Länge L hervorsteht (c). Zu sehen in Abbildung 9.

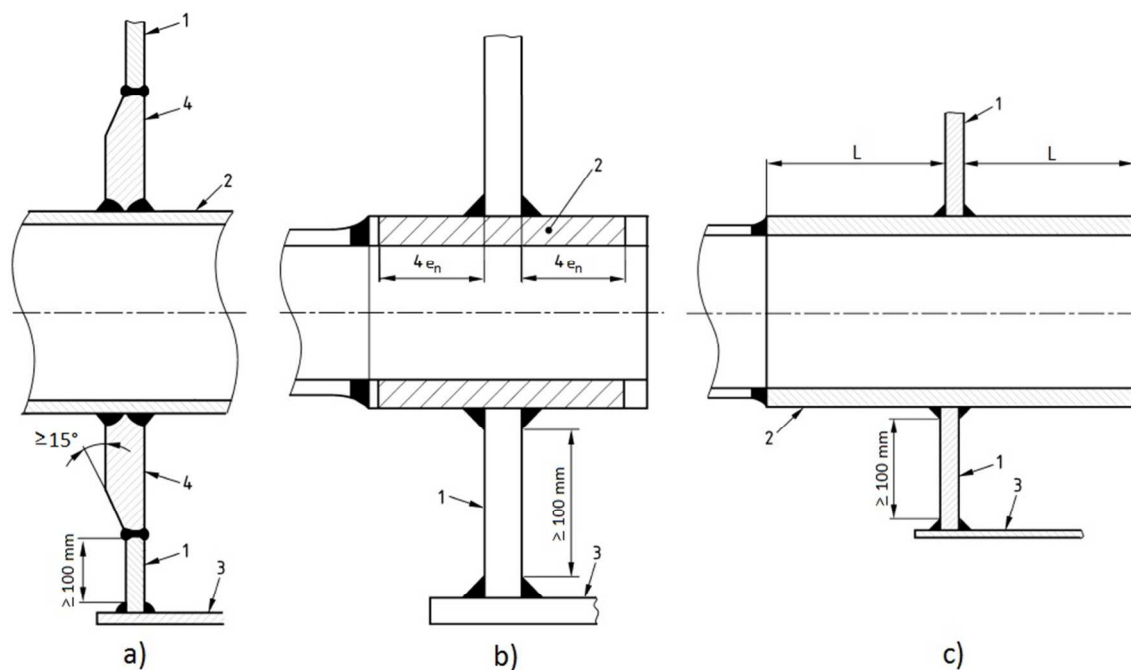


Abbildung 9: Einbauvarianten von Mantelstutzen <sup>[34]</sup>

### Legende

- 1 Mantelblech
- 2 Stutzen
- 3 Bodenblech
- 4 Einsetzblech

<sup>34</sup> DIN EN 14015:2004 Bild 10 - Manteleinbaublech als Verstärkung S.63, Bild 12 Dickerer Stutzen als Mantelverstärkung S.66, Bild 13 Alternativer Rohrstützen als Verstärkung S.67.

## 1.4 Montagearten

In der Annahme, dass es sich um einen stehenden Festdachtank handelt, gibt es verschiedene Montagemethoden. Je nach Größe des herzustellenden Bauwerks wird als Erstes der komplette Boden oder teilweise nur der Randsegmentring gefertigt. Abhängig von der gewählten Bauweise kann die Bodenmontage später parallel zur Mantelmontage erfolgen. Nun kann eines der folgenden Montageverfahren zum Einsatz kommen.

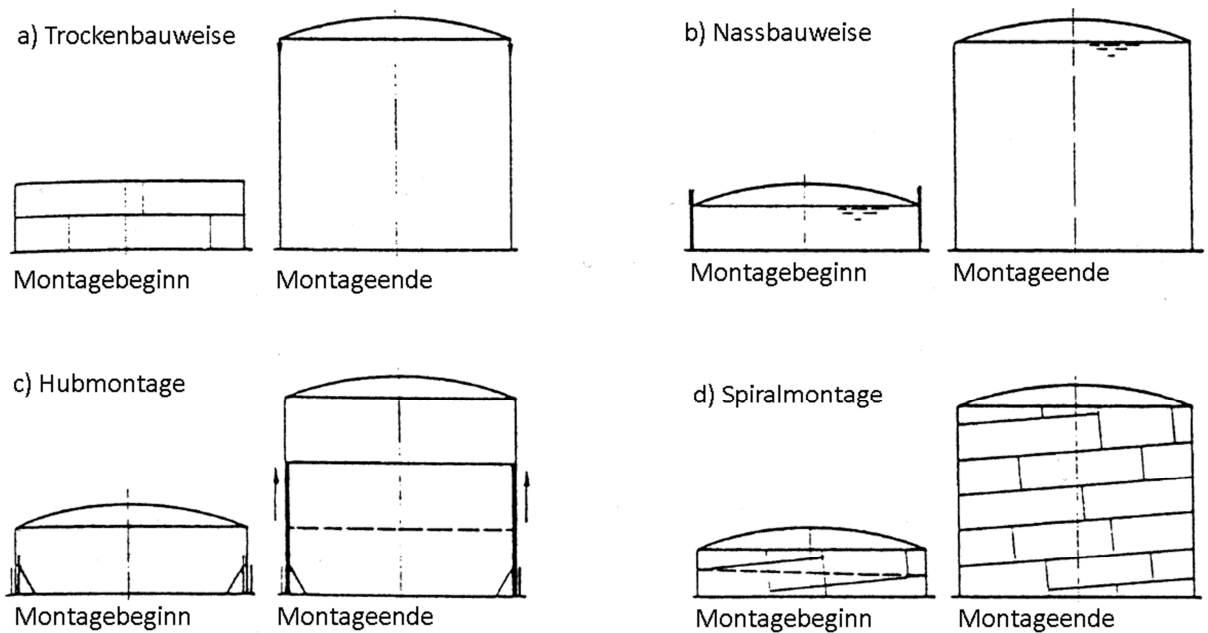


Abbildung 10: Montagemethoden von Festdachtanks <sup>[35]</sup>

### Trockenbauweise

Es handelt sich um das älteste und auch am häufigsten angewandte Verfahren, was auch Aufsatzmontage genannt wird. Hierbei wird der Behälter ähnlich eines Gebäudes montiert. Nach Fertigstellung des Bodens folgt die Fertigung der Wände und abschließend wird das Dach aufgesetzt und komplettiert.

Vorteil ist der uneingeschränkt mögliche Einsatz von Schweißautomaten bei der Fertigung. Zu den Nachteilen gehören die labilen Montagezustände, zusätzliche nötige Sicherungsmaßnahmen sowie das Arbeiten in großen Höhen und die damit notwendigen Gerüste und Einhausungen.

<sup>35</sup> Handbuch der Stahlbaumontage, Abb. 6-16. Montagemethoden von Festdachtanks, S.6-22.

### **Nassbauweise**

Vor Beginn der Mantel- und Dachmontage muss zuerst die Arbeit am Boden komplett abgeschlossen sein. Danach erfolgt zeitgleich die Montage des ersten Mantelschusses und des Daches. Letzteres befindet sich dabei innerhalb des Behälters. Nach Fertigstellung der Dachhaut wird ein Stutzen mit Gebläse montiert, der für einen Druckaufbau benötigt wird. Anschließend folgt die Wasserfüllung. Aufgrund des Druckes beginnt das Dach auf dem sich bildenden Luftpolster, welches vom Gebläse verstärkt wird, zu schwimmen. Es folgt die systematische Montage des Mantels. Nach Beendigung dieser, wird das Dach über den Tankmantel herausgehoben und abschließend die Mantel-Dach Verbindung hergestellt.

Vorteile sind die hohe Sturmsicherheit im Montagezustand und die gleichzeitige Druckprüfung während der Fertigung. Als nachteilig erweisen sich die dauerhaft nötige Aufrechterhaltung des Druckes unterhalb des Daches, die Ergreifung von Frostschutzmaßnahmen im Winter sowie eine notwendige Absicherung des schwimmenden Daches gegen Kippen.

### **Hubmontage**

Hier wird nach der Montage des Bodens mit der Fertigung des Dachmantelschusses begonnen. Anschließend wird die Dachkonstruktion zusammengebaut und die Hubvorrichtung aufgebaut. Nach der Fertigstellung des Dachmantelschusses einschließlich der Dachkonstruktion kann mit dem Hubvorgang begonnen werden. Bei diesem wird das Dach inklusive des Mantelschusses angehoben und der darunterliegende Schuss gestellt. Ist dieser vollständig verschweißt, wird das Dach auf den unteren Schuss abgesenkt und mit ihm verbunden. Der Hubvorgang wird so lang wiederholt, bis der Tank die gewünschte Höhe erreicht hat. Abschließend folgt die Verbindung Boden-Mantel.

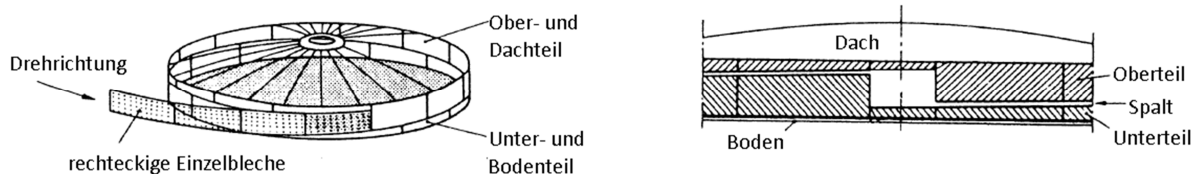
Der große Vorteil dieser Technologie liegt darin, dass bereits bestehende Behälter erweitert werden können. Der Arbeitsbereich befindet sich immer in Bodennähe und durch die aussteifende Wirkung des Daches ist eine gute Form- und Windstabilität gewährleistet. Großteils wird diese Montagemethode bei geschraubten Leichtbaubehältern angewendet.

Diese Technologie weist jedoch sehr große Nachteile auf. Eine Verwendung der UP-Quernahtautomaten ist nicht möglich, da diese nicht wie üblich in die Mantelblechoberkante eingehängt werden können. Weiterhin entsteht durch die Hubgerätetechnik eine sehr starke Belastung für den Behälterboden, was dazu führen kann, dass dieser versagt und sich Fehlstellen bilden. Ebenfalls entsteht ein zusätzlicher Montageaufwand für die Hubgerätetechnik. Aus den genannten Gründen wird dieses Verfahren bei einem Neubau eines vollständig verschweißten Behälters nicht mehr eingesetzt.

## Spiralmontage

Diese Montagevariante ist auf zwei Arten möglich. Bei beiden müssen Mantelbleche in Keilform für den Anschluss an Boden und Dach gefertigt werden. Der einzige Unterschied der Arten besteht in der Form der Mantelbleche. Es können Bleche in den gleichen Abmaßen wie bei den restlichen Verfahren verwendet werden oder aber die Fertigung des Mantels erfolgt direkt vom Coil. Letzteres findet meist Anwendung bei kleineren Behältern, welche aus nichtrostenden Stählen bestehen.

„Bei der Spiralmontage wird das Oberteil, bestehend aus Dach und schrägen Mantelstück, in einer schraubenartigen Drehbewegung nach oben geschoben. Dabei werden die Mantelbleche immer am gleichen Ort nacheinander montiert.“<sup>[36]</sup>



"Unter und obere Schräge" mit Dachkonstruktion bei Beginn des Spiralvorgangs

Systemskizze Unter- und Oberteil mit Dach

**Abbildung 11: Schraubenmontage**<sup>[37]</sup>

Der große Vorteil ist der sich nicht ändernde bodennahe Arbeitsbereich, der zur Folge hat, dass zeitraubendes Um- / Versetzen von Gerätschaften entfällt. Die Möglichkeit zur Automatisierung bietet sich aufgrund der immer wiederkehrenden Arbeitsschritte an. Weiterhin ermöglicht der Arbeitsbereich eine Vereinfachung der Überwachung sowie eine Witterungsunabhängigkeit, da sich der Großteil der Arbeitsplätze innerhalb des Behälters befindet. Nachteilig sind der Einsatz von teurer Hub- und Vorschubtechnik sowie die starke Beanspruchung der Bodenbleche während der Montage.

<sup>36</sup> Handbuch der Stahlbaumontage, 6.4.1.1. Stehende Zylinderbehälter, Spiralmontage, S.6-23.

<sup>37</sup> Handbuch der Stahlbaumontage, Abb. 6-18, S.6-23, Abb. 6-19, S.6-24.

## **2 Baustelleneinrichtung**

### **2.1 Beschreibung der Baustellensituation**

Da auf jeder Baustelle andere Rahmenbedingungen herrschen, soll dies nur ein Vorschlag für die Einrichtung sein und muss gegebenenfalls abgewandelt werden. Aufgrund bereits bestehender Baustellenbedingungen ergeben sich Forderungen an den Auftraggeber und andererseits zusätzliche Aufgaben für den Montagebetrieb. Selbstverständlich sind vor Beginn der Baustelle die Aufgabenverteilung sowie die Regelung der Kosten vertraglich zu klären.

#### **Unterkünfte**

Die Unterkünfte sind für alle auf Montage befindlichen Arbeiter ein sehr wichtiger Punkt. Aufgrund der Montagedauer und auch der täglichen Arbeitszeit ist dies ihr einziger privater Bereich. Wenn Sie sich dort nicht wohlfühlen, ist mit einer schlechten Motivation der Arbeiter und einem daran gekoppelten schleppenden Baufortschritt zu rechnen.

Als Unterkünfte gelten Tagesunterkünfte, Nachtunterkünfte, Büros und sanitäre Anlagen. Es werden hierfür bereits vorhandene Räumlichkeiten oder extra für diesen Zweck angemietete Container genutzt. Grundlegend ist sicherzustellen, dass sich in allen auf der Baustelle befindlichen Unterkünften Stromanschlüsse, Licht, Wasser und eine funktionstüchtige Heizung befinden. Tagesunterkünfte befinden sich auf, am Rand oder neben dem Baufeld. In diesen Räumen sollen die Monteure sich umkleiden, Mahlzeiten zu sich nehmen sowie Ihre Arbeitssachen aufbewahren und falls nötig trocknen. Eine Einrichtung mit Spinten, Stühlen, Tischen und Kühlschränken ist zweckmäßig. In Einzelfällen können Tagesunterkünfte auch als Nachtunterkünfte genutzt werden. Ist dies der Fall muss eine andere Einrichtung erfolgen, welche den privaten Bedürfnissen der Monteure entspricht. Als übliche Nachtunterkünfte gelten Privatquartiere, Arbeiterunterkünfte, Bungalowanlagen oder Hotels, welche sich in einer angemessenen Entfernung zur Baustelle befinden sollten.

Beschränkt durch seine Baugröße bietet ein einzelner Bürocontainer nur mäßig Platz. Daher ist es von Vorteil, einen Doppelcontainer zu verwenden, der aufgrund seiner größeren Grundfläche genügend Arbeitsraum sowie Platz für Meetings bereitstellt. Die Grundausstattung sollte Bürostühle, Schreibtische mit Schubfächern und Schränke umfassen. Der Standort des Bürocontainers sollte eine gute Übersicht über die Baustelle ermöglichen und gut erreichbar sein. Sanitäre Anlagen müssen in ausreichender Menge vorhanden sein. Auf dem Baufeld werden meist mobile Toilettenhäuschen aufgestellt, um kurze Wege zu ermöglichen. Da sich in diesen aber kein Wasseranschluss befindet, müssen Sanitärcontainer in ausreichender Anzahl vorhanden sein. In diesen gibt es Waschplätze, Duschen und Toiletten.

### **Medienanschlüsse**

Die auf der Baustelle notwendigen Medien sind Telefon / Internet, Strom und Wasser.

Für die Sanitärcontainer ist ein Wasseranschluss Grundvoraussetzung. Das Abwasser kann entweder über einen Festanschluss oder mittels Speicherbehälter, welcher durch einen Pumpwagen geleert wird, entsorgt werden.

Weiterhin unverzichtbar ist die Versorgung des Baufeldes und der Unterkünfte mit Strom. Sollte ein Festanschluss nicht vorhanden sein, muss die Versorgung mit Diesel- oder Notstromaggregaten erfolgen.

Für eine schnelle Verständigung von Rettungskräften oder Ärzten sowie der Kommunikation mit Lieferanten, Firmenleitung u.a. ist ein Internet- / Telefonanschluss im Büro bereit zu stellen. Ist die Realisierung eines festen Internet- / Telefonanschlusses nicht möglich, sollte zumindest eine Internetverbindung über UMTS oder via Satellit hergestellt werden können, um ein zeitgemäßes Arbeiten zu ermöglichen.

### **Lagerflächen**

Es gibt verschiedene Arten von Lagerplätzen, entscheidend sind hierbei die Tragfähigkeit des Untergrundes und die Ausführung der Oberfläche.

Im Falle eines Sammel- oder Umschlagplatzes ist es von Vorteil, wenn dieser eine hohe Belastbarkeit aufweist und asphaltiert ist, was bei Großprojekten mit anschließender Weiterverwendung der Fall sein kann. Meist ist eine Verdichtung des Untergrundes und eine Schotteroberfläche für die Bauzeit vollkommen ausreichend.

Für einen reibungslosen Bauablauf ist es sinnvoll, wenn die Lagerflächen im Hakenbereich eines oder mehrere Krane liegen.

### **Baustraßen**

Baustraßen sollen einen problemlosen Materialtransport ermöglichen und müssen dem Druck von Sattelschleppern oder Mobilkranen standhalten.

### **Transportmittel**

Als Transportmittel werden alle Arten von Hebevorrichtungen oder Fahrzeugen angesehen, die auf der Baustelle zum Einsatz kommen. Baufahrzeuge wie Schwerlasttransporter oder Merlo - Teleskopstapler sollten auf den dafür vorgesehenen Straßen bewegt werden.

## **Fundamente**

Hier gibt es vier verschiedene Ausführungen der Gründung, welche das Platten-, Betonring-, Betongitter- und das pfahlgestützte Gitterfundament wären. Eine der genannten Varianten sollte für einen Lagertank verwendet werden. Die Auswahl und Fertigung übernimmt der Auftraggeber. Aufgabe vom Montagebetrieb ist es eine Tankbodenmessung durchzuführen und diese in einem Messprotokoll festzuhalten. Die zulässigen Abweichungen und Anforderungen sind in der DIN EN 14015:2004 unter Punkt 16.2 Gründungen zu finden. Dies beinhaltet die zulässigen Abweichungen am Rand sowie der Gründungsoberfläche. Des Weiteren sind vor Montagebeginn Markierungen der Himmelsrichtungen und Gradzahlen anzubringen, die für eine bessere Orientierung sorgen.

## **Lagerung Schweißwerkstoffe**

Die Anlieferung von technischen Gasen erfolgt üblicherweise in Flaschen. Bei größerem Bedarf werden sie zu Batterien gekoppelt oder es kommen Flaschenbündel zum Einsatz. Wichtige Schutzmaßnahmen für Druckgasflaschen sind:

- Schutz vor großer Wärme (Druckanstieg)
- Beförderung oder Lagerung darf nur mit aufgeschraubter Schutzkappe erfolgen
- Schutz gegen Umfallen mit Schelle oder Kette – Bindfäden genügen nicht!
- Nicht werfen oder liegend rollen
- Nicht mit Magnetkränen befördern <sup>[38]</sup>

Sonstige Sicherheitsvorschriften sind der jeweiligen Richtlinie / Verordnung zu entnehmen und / oder mit dem Arbeitsschutzverantwortlichen abzuklären.

Um die Schweißzusatzwerkstoffe von feuchtigkeitsbedingten Schäden zu schützen, muss der Lagerraum folgende Bedingungen erfüllen:

- der Raum muss witterungsgeschützt und belüftbar sein
- Decke, Boden und Wände müssen trocken sein
- eine Lagerung direkt am Boden ist zu vermeiden; vorzugsweise sie sind in Regalen oder notfalls auf Paletten zu lagern.

Die Lagerung der Schweißzusätze erfolgt bei einer Temperatur von  $\geq 18^{\circ}\text{C}$  und einer Luftfeuchte  $\leq 60\%$ . Bei Elektroden ist darauf zu achten, dass die Stapelhöhe  $\leq 5$  Elektrodenkartons ist. Die Schweißzusatzwerkstoffe sind entsprechend ihrem Typ, der Abmessung und des Liefertermins getrennt zu lagern. Das Rücktrocknen von Elektroden und UP-Pulver erfolgt nach Angaben des Herstellers, welche sich auf der Rückseite der jeweiligen Verpackung befinden. Weiterhin ist die DVS Richtlinie 504 zu berücksichtigen.

---

<sup>38</sup> Vgl. Unterlagen SFI 2011, 4.05-1 u. 4.05-2, S. 7.

## 2.2 Eingesetzte Geräte

Trotz der verschiedenen Behälterbauweisen unterscheiden sich die verwendeten Hilfsmittel nur wenig. Weltweit kommen Gerätschaften mit ähnlicher Funktionsweise und Aufbau zum Einsatz. Die hier aufgeführten sind als Beispiel anzusehen.

### Gerüste

Alle auf der Baustelle befindliche Stand-, Roll- oder Hubgerüste sowie Treppentürme sind vor Inbetriebnahme von einem dafür ausgebildeten Verantwortlichen auf Vollständigkeit und Funktionstüchtigkeit zu überprüfen und anschließend freizugeben. Der Aufbau von Rüstungen und Treppentürmen erfolgt in der Regel durch außenstehende Firmen. Im Tankbau werden überwiegend Hängerrüstungen verwendet. Diese sind meist Eigentum des Montagebetriebes. Sie werden mitgeliefert und selbstständig während des Bauprozesses erweitert, umgebaut und abgenommen.

### Krane

In Abhängigkeit von Größe und Fortschritt der Baustelle sind ein- oder mehrere Gewerke gleichzeitig tätig. Somit ist es keine Seltenheit, wenn mehrere Krane parallel arbeiten. Oft stellt dies sogar eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Montage dar. Bei der Arbeit mit Kranen sind das Bedienpersonal sowie die restlichen Arbeiter vorher auf den Umgang mit diesen zu schulen bzw. zu unterweisen. Es muss im Bereich des/der eingesetzten Krane darauf geachtet werden, dass der Untergrund eben, tragfähig und eine ausreichende Sicherheit zu Böschungskanten aufweist. Die Standorte der Krane sind in der Bauplanung zu berücksichtigen und gegebenenfalls zu schaffen. Üblicherweise kommen Turmdrehkrane (TDK) zum Einsatz. Sie sind für einen Dauereinsatz gedacht, schnell einsatzbereit, besitzen einen sehr großen Schwenk- sowie Lastbereich und arbeiten je nach benötigtem Niveau in unterschiedlichen Höhen. Häufig wird die zu befördernde Last von einem Kran in den Arbeitsbereich eines anderen Kranes weitergereicht, somit kommt es zu einer Überschneidung ihrer Arbeitsbereiche. Eine Vorrangregelung wird benötigt, um Unfälle zu verhindern. Eine Einschränkung des Schwenk- und Laufkatzenbereiches kann dabei in Betracht gezogen werden. Die Kommunikation der Kranfahrer untereinander sowie mit dem Bodenpersonal findet über Funkgeräte statt. Falls eine Fernbedienung für den Kran vorhanden ist, führt der Kranfahrer die Last vom Boden aus. Gerät er mit seinem Ausleger in den Schwenkbereich eines anderen Kranes, ist dies unbedingt vorher per Funk anzukündigen und mit dem Bediener des anderen Kranes abzustimmen. Nur den zum Anschläger ausgebildeten Arbeitskräften ist es erlaubt, eine Last am Kran anzuhängen. Über diese Regelung soll sichergestellt werden, dass Lasten nicht durch unsachgemäßen Transport Schaden nehmen oder anrichten.



## **Körbe**

Mit ihnen wird die Arbeit am Tank und Begutachtung der bereits ausgeführten Schweißarbeiten durchgeführt. Für Schweißarbeiten kommen spezielle Schweißerkörbe zum Einsatz. Die Begutachtung erfolgt durch Krankörbe, Hebebühnen oder auch mit dem Grundgestell der Schweißerkörbe. Sie besitzen keine Plane und können mittels zusätzlich angebrachter Rollen ohne Kran entlang des aktuellen Mantelschusses bewegt werden.

Schweißerkörbe müssen vier grundlegende Eigenschaften erfüllen. Sie sollen die zu schweißende Stelle sowie den Schweißer vor Wind und Wetter schützen, ferner eine gute Zugänglichkeit zur Schweißnaht bieten und aufgrund der wechselnden Arbeitsplätze am Tankmantel schnell umsetzbar sein. Weiterhin müssen sie die Schweißgerätetechnik und die stromversorgende Zuleitung aufnehmen. Ein Versatz der Körbe sollte möglichst ohne vorheriges Entfernen des gesamten Equipments ablaufen.

Der Grundaufbau ist meist gleich. Sie bestehen aus einem Gitterrohrrahmen mit Verkleidung, die aus einer schweren, nicht brennbaren Plane oder aus dünnen, matt lackierten Blechplatten bestehen kann. Eine zweiteilige Ausführung ist ebenfalls möglich. Alle Körbe werden in den Tankmantel eingehangen und benötigen somit keinerlei zusätzliche Befestigung. Je nach Art wird das Schweißgerät auf den Korb gestellt oder an der Rückseite befestigt und abgedeckt.

Die einteilige Ausführung deckt gleichzeitig Innen- als auch Außenseite des Tanks ab, was zu einer gleichmäßigen Belastung des Mantelbleches führt. Ebenfalls wird ein wechselseitiges Arbeiten ermöglicht, was aufgrund des Schweißfolge erforderlich werden kann. Das Umhängen erfolgt in nur einem Arbeitsschritt durch den Kran, was Zeit und Kosten spart.

Die Verwendung von zweiteiligen Körben ist in Bezug auf Ihre Handhabung eher nachteilig. Es wird mehr Zeit benötigt, um beide Hälften in den Tank einzuhängen, da sie nur einzeln an Kran und Mantel erfolgen kann. Wird nur ein Teil des Korbes eingehangen, erfolgt eine einseitige Belastung des Mantelbleches. Dies kann zusätzliche Spannungen ins Blech einbringen.

Vorteile der Bauart mit Plane sind das geringe Gewicht und die Möglichkeit für einen schnellen Austausch der Plane bei Defekten. Als negativ erweist sich, dass die Plane zwar unter Zuhilfenahme von Magneten am Tank befestigt werden kann und somit die Schweißstelle vor leichtem Wind schützt, aber bei stärkeren Winden sowie Regen keinen vollständigen Schutz bietet. Durch die im Korb ausgeführten Brenn-, Schleif-, Schneid- und Schweißarbeiten unterliegt sie einem starken Verschleiß.

Eine feste Verblechung bietet mehrere Vorteile. Ihr größter Pluspunkt ist der sehr gute Schutz vor schlechten Wettereinflüssen, welcher durch Kombination mit einer Hartgummilippe an der

Tankwand erreicht wird. Ebenfalls bietet dieser Aufbau die Möglichkeit Halterungen und Stromanschlüsse innen sowie außen fest zu installieren, was vorteilig für den Betrieb ist, da nur ein Stromkabel gebraucht wird. Dieser Fakt trägt gleichzeitig zur Erhöhung der Arbeitssicherheit bei. Es können weniger stromführende Zuleitungen verletzt werden, da für einen Korb nur ein Kabel benötigt wird.

Manko bei beiden Korbvarianten ist die sehr starke Erhitzung im Sommer. Zusätzlich findet eine schlechte Luftzirkulation statt. Bei geöffneter Tür und Dachluke der einteiligen festverblechten Körbe können Schweißdämpfe ungehindert abziehen. Bei Regen sollten diese jedoch geschlossen sein. Infolgedessen kann eine Frischluftversorgung notwendig werden. Diese wird meist über ein portables Frischluftgerät, was in den Schweißblenden eingebaut ist und zur PSA gehört, realisiert.



**Abbildung 13: Einhängen eines zweiteiligen  
Schweißerkorbes mit Plane**

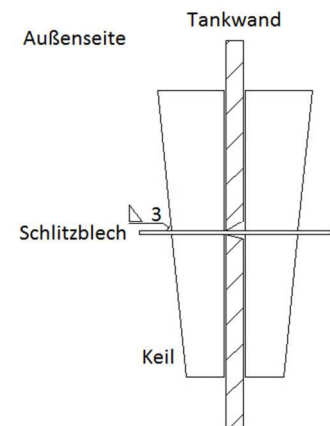


**Abbildung 12: einteiliger  
verblechter Schweißerkorb**

### **Keile, Knaggen und Schlitzbleche**

Diese Blechstücke werden beim Behälterbau an verschiedenen Stellen in unterschiedlichen Varianten benötigt. Sie dienen als Aufhänger für die Konsolrüstung, werden zum Stellen/Verlegen von Boden- und Mantelblechen benötigt oder als Hilfsmittel beim Anrichten.

Bei der Montage kommen so genannte Frösche zum Einsatz, die aus einem Schlitzblech und zwei Keilen bestehen. Schlitzbleche und Keile können aus Blechen oder Flachstahl gestanzt bzw. geschnitten sein. In der einfachsten Ausführung werden ca. 15-20 cm lange und 5-8 mm starke Keile verwendet. Die Dicke der Schlitzbleche hingegen ist nur 2 mm. An jedes Schlitzblech wird vorher ein Keil angeschweißt. Vor dem Aufsetzen des zu montierenden Mantelbleches werden die Schlitzbleche unter die Blechkante geschoben, der zweite Keil eingesteckt und nach dem Aufsetzen festgeschlagen. Dadurch wird erreicht, dass kein Versatz der beiden Bleche entsteht. Aufgrund der geringen Materialstärke des Schlitzbleches wird der Stegabstand der horizontalen und senkrechten Nähte während der Montage einfach und gleichmäßig auf dieses Maß eingestellt. Die Frösche sind für das Halten der waagerechten sowie senkrechten Nahtkanten zuständig und in einem Abstand von etwa 500 mm zueinander anzubringen. Beim Abheften der Nähte werden sie nach und nach herausgeschlagen.



**Abbildung 14: Skizze der Anwendung von Keilen und Schlitzblech**

Die bei der Verlegung des Bodens entstehende dreifache Überlappung wird mit einem stärker ausgeführten Winkel und einem Nasenkeil fixiert und für das Schweißen vorbereitet. Zu sehen in Abbildung 15. Wie diese Überlappung auszuführen ist wird steht unter Punkt 6.2 - Schweißen des Bodens geschrieben.



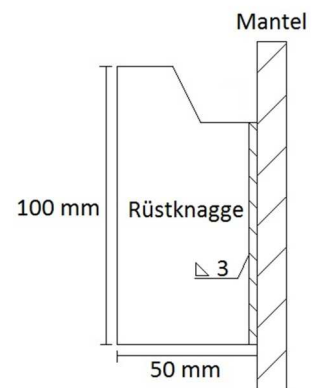
**Abbildung 15: Fixierung der Bodenbleche**

## **Konsolrüstung**

Aufgrund ihrer Einfachheit ist die Konsolrüstung seit Jahrzehnten im Tankbau unverzichtbar. Sie kann sowohl innerhalb als auch außerhalb des Tanks montiert werden. Sobald ein neuer Schuss fertiggestellt ist, wird sie hochgerüstet.

Eine Konsolrüstung besteht aus Konsole, Hand-, Knie- und Fusslauf, Rüstbohlen, Rüstknaggen und Sicherungssplinten.

Die Rüstknaggen werden senkrecht angeordnet, in einem Abstand von ca. 1500 mm von der Oberkante des Mantelbleches und im maximalen Abstand von 1500 mm zueinander am Tankmantel angeschweißt. Eine Seite der Knagge wird vollständig verschweißt, die andere nur geheftet. Es folgt das Einhängen der Konsole. Sind mindestens zwei Konsolen eingehängt, wird mit dem Auslegen der Rüstbohlen begonnen. Aufgrund der Höhe sind diese Arbeiten nur mit Fallsicherung auszuführen. Ein Rüster befindet sich dabei auf der gerade aufgebauten höheren Rüstung, der zweite noch auf der unteren. Teil für Teil wird die Rüstung von der unteren Etage in die nächste hinaufgegeben, montiert und vervollständigt. Der letzte Arbeitsschritt ist die Abnahme und Freigabe der kompletten Konsolrüstung durch einen Bevollmächtigten. Je nach Tankgröße, Anzahl und Erfahrung der Arbeiter kann diese Arbeit ca. 0,5 - 2 Tage dauern.



**Abbildung 16: Skizze der Befestigung einer Rüstknagge am Tankmantel**

### **Schweißgeräte und Automaten**

Im Behälterbau kommen die allgemein bekannten Verfahren, Techniken und Gerätschaften zum Einsatz. Als Beispiel dafür sei das Lichtbogenhandschweißen in PB- Position mit basischen Elektroden auf dem Boden gewählt. Für die Herstellung der horizontalen Mantelblechverbindung unter Baustellenbedingungen können verschiedene Verfahren genutzt werden. Diese sind unter anderem das Lichtbogenhandschweißen, MAG-Schweißen mit Fülldrahtelektrode und das UP-Schweißen. Aufgrund der hohen Fertigungsgeschwindigkeit wird das UP-Schweißen vorrangig genutzt. Um dieses Verfahren auch in der PC-Position an der Behälterwand einzusetzen, ist der UP-Rund- oder auch UP-Quernahtautomat genannt, entwickelt worden. Er ist so konstruiert, dass er in den Behälter eingehängt wird und sich selbstständig an der Behälterwand entlang bewegt. Über ein Pulverförderband, welches an der Tankwand anliegt, wird das benötigte Pulver geführt und gleichzeitig in Position gehalten. Die restliche Funktionsweise ist gleich zur Standard UP-Technik.



Abbildung 17: UP-Rundnahtschweißgerät

### **Sonstige Hilfsmittel**

Beim Anrichten der Stehnähte gibt es je nach Materialstärke unterschiedliche Methoden. Bei allen wird üblicherweise eine Stehnahtspindel genutzt, um die Mantelbleche an ihrer Oberen Kante zusammen oder auseinander zu drücken.

Im Dünoblechbereich finden häufig Radiusbleche und Keile Anwendung. Radiusbleche sind ca. 1000 mm lange, 10 mm starke, im Radius des Tanks geschnittene Bleche. In ihrer Mitte ist eine Einkerbung für die Schweißkeramik. Rechts und links daneben befindet sich jeweils ein Spalt für einen Keil. Zu sehen in Abbildung 18.



**Abbildung 18: Radiusblech mit Schweißkeramik an Stehnaht**

Im dickeren Blechbereich kann man als Alternative zu den Radiusblechen, Stehnahtbrücken nutzen. Diese bestehen aus einem U-Profil mit zwei länglichen Öffnungen für die an die Tankwand angeschweißten Schlitzbleche. Auf dem Profil befinden sich noch vier kurze 10 x 10 mm Vierkantstücke. Das U-Profil wird über die beiden Schlitzbleche geführt. Durch die herausstehenden Schlitzlöcher wird ein Keil geschlagen, um dem Mantelblech die benötigte Ausrichtung und Vorspannung zu geben. Die Anordnung der Vierkantstücke erlaubt es, weitere Verkeilungen vorzunehmen, um so das Mantelblech besser in die benötigte Richtung zu zwängen.



**Abbildung 19: Stehnahtbrücke**

Ansatz- oder auch Endkraterbleche werden für eine ordnungsgemäße Füllung der jeweiligen Lage sowie zur Vermeidung von Ansatz- und Endkraterfehlern benötigt.

Den Transport der jeweiligen Bleche übernimmt auf der Baustelle ein Turmdrehkran. Um das Anhängen zu vereinfachen und ebenso den Transport der Mantelbleche zu sichern, benutzt man eine Traverse. Diese gewährleistet, dass die für Ketten und Schlupfe maximal zulässigen Kräfte und Winkel nicht überschritten werden, sowie dass der Transport möglichst ohne Rotation abläuft.

Als Anschlagmittel für Bleche dienen Klauen in verschiedenen Ausführungen. Für den Transport von Mantelblechen nutzt man vertikale Klemmen. Bei Bodenblechen hingegen kommen Greifer für den horizontalen Transport zum Einsatz. Um Anhängpunkte an den Blechen trotz Benutzung einer Traverse möglichst variabel zu gestalten erfolgt die Befestigung der Klauen mit Schlupfen.

Schlupfe können in unterschiedlichen Arten als auch Längen ausgeführt sein und bestehen aus den verschiedensten Materialien. Ihre Ausführung ist natürlich abhängig von der zu hebenden Last. Bei einer direkten Belastung sind Gewichte von bis zu 50 Tonnen möglich.

Winden oder Kettenzüge kommen bei der Windsicherung zum Einsatz. Mit ihnen ist ein schnelles Spannen der Drahtseile möglich. Ebenfalls können mit ihrer Hilfe Bleche am Verzug gehindert oder auftretende Deformationen beseitigt werden. Alternative dazu sind Öldruckheber und Pressen.

## 2.3 Arbeits-, Brand- und Gesundheitsschutz

Da eine detaillierte Bearbeitung dieser Thematik den Umfang der Arbeit bei Weitem überschreiten würde, soll der Arbeits-, Brand- und Gesundheitsschutz an dieser Stelle nur kurz angeschnitten werden.

Auf Baustellen herrscht ein generell erhöhtes Gefahrenpotential. Um Arbeitern dennoch Sicherheit zu bieten, finden berufsgenossenschaftliche Informationen, Regeln und Vorschriften für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit ihre Anwendung (BGI, BGR, BGV). Abgesehen davon sind die berufsgenossenschaftlichen Grundsätze einschließlich zugehöriger Prüfberichte und Bescheinigungen sowie die Arbeitsstättenverordnung zu berücksichtigen, um nur einige zu nennen.

Abhängig von Baustelle, Auftraggeber und den auszuführenden Arbeiten variieren die geforderten Sicherheitsmaßnahmen, sodass die folgende Checkliste zu Arbeitssicherheit nur eine grobe Orientierung darstellt.

Nr.	Zu kontrollierende Punkte	Erläuterung
1	Anzeigen der Montagearbeiten	Planung des Geräteeinsatzes
2	Abstimmen der Arbeiten mit dem Koordinator	Regelung des Zeitmanagements, Vorschriften etc.
3	Erste Hilfe	Ersthelfer, Standorte von Verbandskästen, Fluchtwegen, etc.
4	Benennung des Sicherheitsbeauftragten	
5	Sicherheitsunterweisung aller Arbeiter	Verhalten bei Arbeit unter schwebenden Lasten, Umgang mit Leitern, Schutzausrüstung etc.
6	Überprüfung der Montageanweisung	Prüfung auf Vollständigkeit und Aktualität
7	Arbeitswege und Arbeitsplätze	Kontrolle dieser, Kennzeichnung von Gefahren
8	Prüfung der Gerätetechnik	Regelmäßige Überprüfung von Anschlagmitteln, Sicherheitseinrichtungen etc.
9	Brandschutz	Verantwortliche, Schweißerlaubnisscheine, welche Sicherheitseinrichtungen sind nötig/vorhanden
10	Atemschutz	Prüfung der Notwendigkeit, Benutzereinweisung
11	Persönliche Schutzausrüstung (PSA)	Schutzbrille, Handschuhe, Helm , Schuhe etc.
12	Bedienberechtigung für Geräte und Objekte	Prüfung von Führerscheinen für Hebetchnik und Fahrzeuge, Einweisung der Bediener und Arbeiter
13	Ordnung und Sauberkeit auf der Baustelle	Verminderung der Gefahrenbildung

Tabelle 1: Checkliste Arbeitsschutz



### **3 Montagetechnologie für einen Behälter mit freitragendem Kugeldach in Trockenbauweise**

Vor Beginn der Montage sind unbedingt die Anforderungen an den Montagebetrieb, generelle sowie spezifische Angaben zum Bauvorhaben und die Leistungen des jeweiligen Partners in einer schriftlichen Vereinbarung zu klären und festzuhalten. Als Anregung, was diese alles beinhalten sollte, ist im Anhang A der DIN EN 14015:2004 eine beispielhafte Ausführung zu finden. Einige wichtige Angaben für den montierenden Betrieb sind z.B. wie er sich zu verhalten hat, wenn ein Stutzen eine Mantelschweißnaht kreuzt oder wer für die Bereitstellung des Baumaterials verantwortlich ist.

Die direkten Montagevorbereitungen beginnen mit der Säuberung des Fundamentes, anschließender Kontrolle des Durchmessers und der Höhenkote sowie dem Festhalten der Werte im Übergabeprotokoll. Abweichungen und Anforderungen an das Fundament sind in Punkt 2.1 - Fundamente bereits beschrieben. Weiterhin sind alle benötigten Markierungen und Achsen an / auf dem Fundament anzubringen. Diese dienen der einfacheren Orientierung innerhalb und außerhalb des Tanks sowie dem Bestimmen von Abmaßen zur Montage von späteren Anbauteilen.

Ist der Auftraggeber gleichzeitig der Lieferant der jeweiligen Konstruktion, kann sich dieser die zu liefernde Qualität vorbehalten. Eine Wareneingangskontrolle ist für den Montagebetrieb dann zwar nicht zwingend notwendig, aber dennoch immer zu empfehlen.

Generell gilt für alle Bleche, dass diese rechtwinklig geschnitten sind, die Schnittkante gerade ist und die Schweißnahtvorbereitung, wenn vorhanden, gleichmäßig sowie fehlerfrei erfolgt. Bei Mantelblechen kommt hinzu, dass der korrekte Walzradius und die vollständige Auswalzung der Blechenden eingehalten werden. Ist dies nicht der Fall, kann es zu Fertigungsproblemen kommen. Abweichungen von den vertraglichen Vereinbarungen sind mit einer Mängelanzeige beim Auftraggeber / Blechlieferant anzuzeigen. Die fehlerhaften Bleche müssen aussortiert und für den weiteren Gebrauch gesperrt werden. Benutzt der Montagebetrieb nicht ordnungsgemäße Bleche, sind meist größere Maßabweichungen, aufwendige Nacharbeiten und höhere Kosten die Folge.

### 3.1 Verlegung des Bodens

Bei der Montage des Bodens gibt es zwei unterschiedliche Varianten. Diese sind allein von der Nutzung von Bodenrandblechen abhängig. Werden keine Randbleche benutzt, muss zuallererst der komplette Boden verlegt und verschweißt sein, bevor das Stellen der Mantelbleche erfolgen kann. Bei Verwendung von Randsegmenten hingegen muss nur der Randring vollständig verlegt, verschweißt und geprüft sein, die Mantelblechmontage sowie das Verlegen des Bodens können ab diesem Zeitpunkt parallel zueinander erfolgen. Diese Art findet die häufigste Anwendung, auch unabhängig von der Dimension des zu fertigenden Behälters.

Das Auslegen der Bodenbleche erfolgt nach der Fertigungszeichnung. Begonnen wird immer von der Tankmitte aus, nach beiden Seiten im Wechsel fortlaufend. Dabei ist eine Überlappung von mindestens der fünffachen Blechdicke einzuhalten. Für den Transport wird ein Kran mit Kettengehänge und Horizontalhebeklemmen genutzt.

Der Zuschnitt der Bodenbleche erfolgt üblicherweise vor ihrem Transport in die Endlage. Die Möglichkeit, den Zuschnitt erst in Endlage auszuführen, besteht nur, wenn dies vor dem Stellen des Tankmantels geschieht. Zur Erleichterung der Montage, Einhaltung der geforderten Überlappung und zur Lagesicherung werden Montagehilfsbleche aufgebracht, welche nach dem Abheften wieder rückstandslos zu entfernen sind. Alle Bodenbleche werden der Reihe nach verlegt und abgeheftet. Anschließend sind zuerst die Quernähte und dann die Längsnähte zu schweißen. Genauere Erläuterungen sind unter Punkt 6.2 - Schweißen des Bodens nachzulesen.

Nur bei Behältern mit einem Durchmesser  $< 12,5$  m, müssen keine Randbleche benutzt werden. Der Boden ist wie bereits beschrieben auszulegen und es „sind die Nahtenden der überlappend verschweißten Bodenbleche bis zum Rand unter dem untersten Mantelschuss über eine Länge von mindestens 150 mm oben bündig zu schweißen.“<sup>[39]</sup> Siehe Abbildung 20<sup>[40]</sup>. Erst jetzt kann mit den Vorbereitungen für das Stellen der Mantelbleche begonnen werden.

#### Legende

- 1 Mantelblech
- 2 Bodenbleche

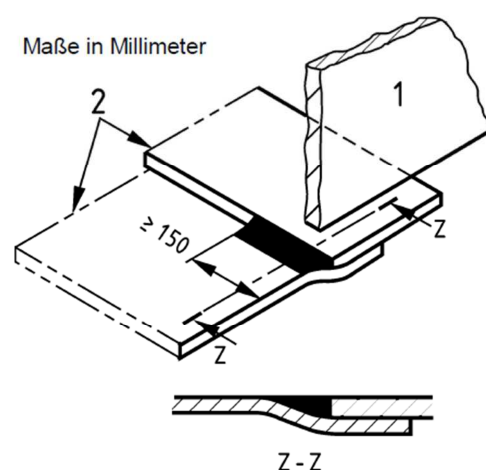


Abbildung 20: Ausführung der Bodenbleche ohne Bodenrandbleche<sup>[40]</sup>

<sup>39</sup> DIN EN 14015:2004, 8.4.3 Herstellung, S.42.

<sup>40</sup> DIN EN 14015:2004, 8.4.3 Herstellung, Bild 4, S.43.

Beim Bau von Tanks mit einem Durchmesser > 12,5 m ist der erste Arbeitsschritt das Auslegen der Randbleche mit Unterlagsblechen. Es folgt das vollständige verschweißen der Radialnähte und das Prüfen dieser. Bei erfolgreich bestandener Prüfung wird an dieser Stelle entweder mit dem Verlegen des restlichen Bodens fortgefahren oder es erfolgt die Vorbereitung für das Aufstellen des ersten Mantel- sowie Tassenschusses, wenn vorhanden. Zu sehen in Abbildung 21 <sup>[41]</sup>. Die Fertigstellung des restlichen Bodens ist unabhängig von der Mantelmontage, muss jedoch vor Beginn der Dachmontage beendet sein.

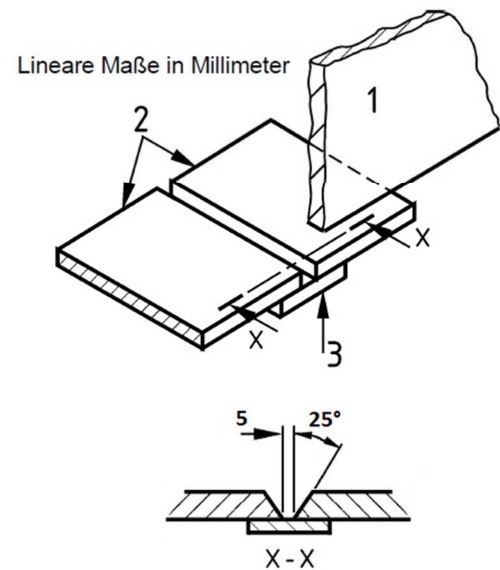


Abbildung 21: Ausführung der Bodenrandbleche <sup>[41]</sup>

Eine weitere Besonderheit ist das Verbinden der Bodenbleche mittels Stumpfstößen. Dabei werden zuerst Schweißbadsicherungen ausgelegt und miteinander verschweißt. Dieser Schritt ist für eine Minimierung von möglichen Rissstellen nötig. Es folgt das Verlegen des Bodens und das Schweißen.

Legende

- 1 Mantelblech
- 2 Bodenbleche
- 3 Unterlagsblech / Schweißbadsicherung

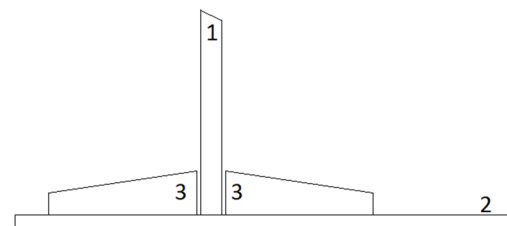
<sup>41</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 8.4.3 Herstellung, Bild 5, S.43.

## 3.2 Stellen der Mantelbleche

Als unverzichtbares Hilfsmittel für das Stellen der Mantelbleche fungieren Führungsknaggen. Sie sind anzuheften und während des Schweißens der Mantel-Bodennaht wieder zu entfernen. Diese Knaggen verhindern ein Hinein- oder Herauswölben, gewährleisten eine kreisrunde Form und reduzieren den Montageaufwand erheblich.

Der Transport erfolgt über eine an den Kran angehängte Traverse. Die Mantelbleche werden mit Blech- oder Hebeklemmen gehalten, welche durch Rundschnitten oder Ketten an der Traverse befestigt sind. Dank der Klemmen ist der Anschlagpunkt variabel und die Bleche können mit der für die Montage benötigten Schrägstellung versehen werden. Die Montage beginnt an der in der Fertigungszeichnung vorgegebenen Gradzahl. Dies soll sicherstellen, dass es nicht zu ungeplanten Überschneidungen kommt und sich später alle Stützen, Öffnungen am vorgesehenen Platz befinden. Weiterhin ist zu beachten, dass alle Mantelbleche spannungsfrei einzubauen sind. Eventuell auftretende Deformationen sind vor Einbau als Mängel anzuzeigen. Bei zu großer Deformierung erfolgt eine Aussortierung der Bleche. Sie sind zu diesem Zeitpunkt nicht mehr für ihren eigentlichen Zweck verwendbar.

Das erste Mantelblech (1) wird in die Führungsknaggen (3) auf dem Boden (2) eingeführt, nach der vorgesehenen Achse ausgerichtet und abgestellt. Aufgrund der Knaggen und seiner Wölbung bleibt es ohne weitere Maßnahmen stehen. Das zweite Blech wird aufgestellt. Anschließend sind beide Bleche an ihrem vertikalen Stoß mittels Kraftschluss zu verbinden. Es folgen die restlichen Mantelbleche auf gleiche Weise. Wegen ihrer Formung, der Verbindung untereinander und des geschlossenen ersten Ringes ergibt sich eine Steifigkeit, die zusätzliche Sicherungsmaßnahmen zu diesem Zeitpunkt unnötig macht.



**Abbildung 22: Skizze der Seitenansicht  
Mantelblech mit Führungsknaggen**

Bereits beim Aufstellen des Mantelschusses wird der Spaltabstand der vertikalen Stöße durch die Schlitzbleche eingestellt, so dass unmittelbar nach Beendigung der Montage mit den Vorbereitungen für das Schweißen begonnen werden kann. Es folgt das Einhängen der Schweißerkörbe, das Anrichten und Schweißen der Stehnähte. Je nach Größe des zu fertigenden Behälters, der Anzahl der auf der Baustelle befindlichen Schweißer und Schlosser wird gleichzeitig an unterschiedlichen Stellen mit dem Stehnahtschweißen begonnen. Nach Fertigstellen einer Naht werden die Körbe zur nächsten Naht umgesetzt. Dabei arbeiten die Schweißer voneinander weg. Während des Schweißens der Stehnähte beginnen Arbeiter bereits damit, Rüstknaggen an die aufgestellten Mantelbleche anzubringen.

Nach Fertigstellung aller Stehnähte des ersten Schusses wird die Konsolrüstung angebracht. Ist diese komplettiert, wird damit begonnen, den zweiten Mantelschuss zu montieren. Die Montage der folgenden Mantelschüsse geschieht ähnlich wie die des ersten Schusses. Besonderheit bei den folgenden Schüssen ist, dass diese wie beim Ziegelbau versetzt zu montieren sind. Dies vermeidet Nahtkreuzungen und die damit verbundenen Spannungen. Die Führung, Befestigung des Mantelbleches auf dem unteren Schuss geschieht mit Hilfe von Keilen und Schlitzblechen, anstatt der Führungsknaggen. Erklärung ihrer Anwendung unter 2.2. - Keile, Knaggen und Schlitzbleche. Ist der zweite Mantelschuss vollständig aufgestellt, wird sofort mit den Schweißvorbereitungen und -arbeiten begonnen.

Sind ca. dreiviertel der vertikalen Stöße des Schusses verschweißt, wird parallel dazu die Rundnaht angerichtet und geheftet. Nachdem alle Stehnähte beendet sind wird die horizontale Behälternahat geschweißt. Abschließend erfolgt die Prüfung der beiden Mantelschüsse anhand des Prüfplanes. Da sich einige der zu prüfenden Bereiche in oder an der Rundnaht befinden, muss beim ersten Schuss bis zur Fertigstellung der ersten Rundnaht gewartet werden. Bei allen folgenden Schüssen wird unmittelbar nach Fertigstellung geprüft und weiter hochgerüstet.

Falls vorhanden, erfolgt die Montage des Tellermantels parallel zum Tassenmantel mit der gleichen Methodik.

Die üblicherweise verwendeten Sicherungsmaßnahmen sind Frösche und über die Stöße geschweißte Keile. Die Keile werden als Sicherung im Montagezustand ca. 100 – 250 mm vom vertikalen Stoß und ca. 300 – 400 mm vom oberen Ende des horizontalen Stoßes entfernt in ihrer starken Achse über den Stoß geschweißt. Vorteil dieses Verfahrens ist die so entstehende starre Verbindung zwischen aufgesetzten Blechen und den bereits fertig gestellten, darunter liegenden Schuss. Bei elastischen Verformungen des Tanks im Montagezustand, welche meist durch äußere Einwirkungen wie Wind oder Anpralllasten hervorgerufen werden, wird es dem gerade montiertem Schuss ermöglicht, sich ähnlich wie der restliche Tank zu verformen und angreifende Kräfte abzuleiten.

Weitere, zusätzlich mögliche Maßnahmen zur Sicherung gegen Wind und Sturm sind das Anbringen von Profilen im Inneren und das Abspannen des Tanks nach außen. Die ca. 1200 mm langen Winkel- oder auch U-Profile sind bei ca.  $\frac{1}{4}$  und  $\frac{3}{4}$  der Länge des Bleches anzubringen. Diese über den horizontalen Spalt geschweißten Versteifungen sollen die Bleche gegen Hineinfallen in den Tank sichern und bei zu starkem Wind stabilisierend wirken. In Abbildung 23 sind beispielhafte Schweißnähte Rot angedeutet. Nachteilig wirken sich das hohe Gewicht des Profils beim Anbringen und der zusätzlich nötige Zeitaufwand aus.

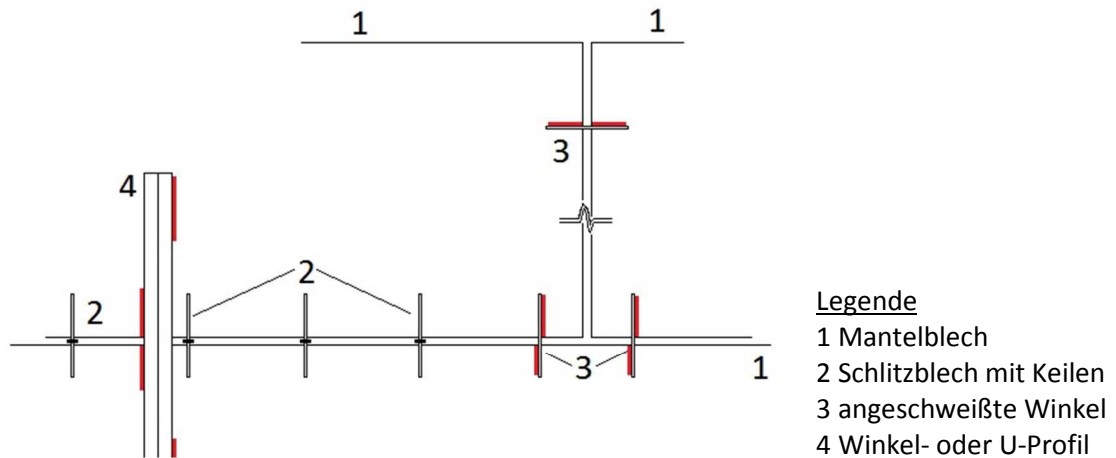


Abbildung 23: Darstellung der Sicherungsmaßnahmen (Skizze nicht maßstäblich)

Das Abspannen nach außen soll den unfertigen Schuss wie die Profile stabilisieren und an einem Hineinfallen hindern. Es erfolgt durch in den Tankmantel eingehangene Bleche. An diese wird mithilfe eines Schäkels ein Seil angebracht. Die Befestigung des Drahtseils am Boden kann an verschiedenen Punkten wie Containern, Betongewichten oder Spundwänden erfolgen. Einzige Voraussetzung ist ein ausreichendes Eigengewicht des Haltepunktes. Um die für die Sicherung nötige Seilspannung aufzubringen, benutzt man Hebel- oder Seilzüge. Die Herstellung der Einhängebleche kann auf der Baustelle erfolgen. Als Grundmaterial kann der Verschnitt des Bodens genutzt werden.

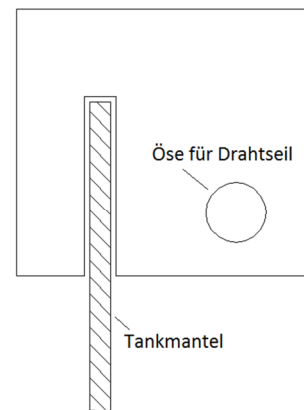


Abbildung 24: Skizze  
Sicherungsblech

Nachteil dieses Verfahrens ist, dass sich mit dem Fortschreiten des Tanks auch die Befestigungspunkte verlagern müssen. Aufgrund des immer steiler werdenden Winkels kommt es dazu, dass die Bleche überwiegend nach unten gezogen werden und im Extremfall die Sicherung versagen kann. Weiterhin besteht durch diese nur punktuelle Stabilisierung des Tankmantels die Möglichkeit der Deformation an dieser Stelle. Falls vom Auftraggeber gewünscht findet eine Anwendung statt. Üblicherweise reichen jedoch die bereits vorhandenen Maßnahmen aus.

### 3.3 Montage einer Ankerschraube mit Einzelstütze

Die Fertigung der Ankerbauteile erfolgt im Werk. Aufgrund seiner Montage ist der obere am Behältermantel zu befestigende Teil in Einzelteilen zu liefern. Der untere Teil wird entweder vollständig verschweißt oder auch in Einzelteilen geliefert, was in einer Vertragsabsprache geklärt werden kann. Vor Beginn der Ankermontage muss die äußere Boden-Mantel-Naht fertiggestellt sein, da sie sonst an einigen Stellen nicht mehr zugänglich ist.

Begonnen wird mit dem Anbau des Ankerunterteils am Fundament. Danach wird die Position der oberen Stütze ausgemessen und angezeichnet. Stimmt die Position der beiden Anker zueinander, sind die beiden vertikalen Platten der Stütze anzuheften, die horizontale Platte aufzulegen, auszurichten und anzuheften. Abschließend sind alle Platten mit dem Tankmantel zu verschweißen. Es folgt der Einbau der Ankerschraube. Diese ist als Gewindestab mit Spreizscheibe, Mutter und Sicherungsmutter nach den von Auftraggeber angegebenen Werten ausgeführt.

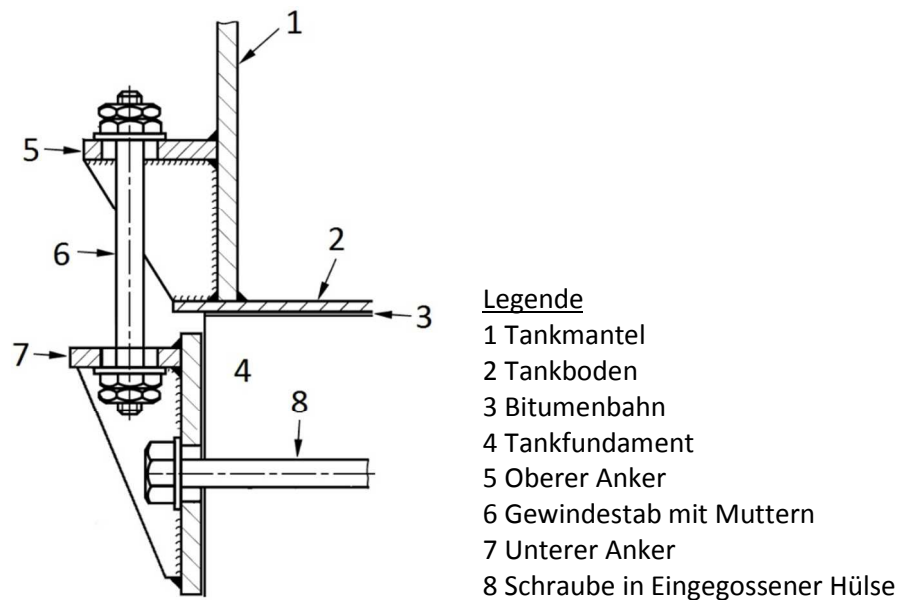


Abbildung 25: Ankerschraube mit Einzelstütze (Skizze nicht maßstäblich)

### 3.4 Montage der Beulsteifen und des Eckringes

Der Anbau der Beulsteifen erfolgt parallel zum Voranschreiten der Mantelmontage. Da die Konstruktion und auch der Anbau selbst variabel sind, wird hier die Montage eines Windverbandes ohne Halter beschrieben. Der Verband selbst ist ein Winkelprofil. Vor Montage der Beulsteife ist unbedingt eine Eingangsprüfung dieser durchzuführen, da ihre Abmessungen stimmen müssen.

Für den Anbau des Winkels am Tankmantel sind Montagehalterungen nötig. Diese werden im Werk gefertigt und auf die Baustelle geliefert.

Nach Ausmessen der Höhe folgt das temporäre Anschweißen der Halterungen an die Tankwand. Je nach Länge der Versteifung, Abweichung zur Behälterwand variiert Anzahl und Abstand der Halterungen. Das Winkelprofil wird mittels Kran und Schlupfen transportiert und in die Halterung eingelegt. Aufgrund der Spannungen, welche durch die Schweißnähte sowie Abweichungen in der Geometrie der Mantelbleche entstehen können, muss in den meisten Fällen eine Anpassung des Tankmantels an die Beulsteife stattfinden.

Im einfachsten Fall genügt es, Keile in die Öffnung zwischen Montagehalterung und Beulsteife zu schlagen, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Bei zu stark abweichenden Werten wird unter Zuhilfenahme von angeschweißten Hilfsblechen und Öldruckpressen der Behältermantel angepasst.

Befindet sich die Versteifung in der richtigen Position, wird sie an die Wand angeheftet. Es folgt der nächste Abschnitt des Versteifungsringes auf gleiche Weise. Nach Anpassung dieses geht das Heften der Beulsteifen untereinander vonstatten. Erst wenn der Ring vervollständigt ist, wird damit begonnen, ihn komplett zu verschweißen. Während dieser Arbeit erfolgt gleichzeitig das Entfernen der Montagehalterungen.

Der Anbau des Dacheckringes findet auf ähnliche Weise statt. Das Vorgehen ist jedoch abhängig von der jeweiligen Konstruktion.



### 3.5 Dachvormontage

An dieser Stelle ist zu sagen, dass es bei der Dachkonstruktion sowie ihren Anschlüssen immer Variationen geben kann. Zum Beispiel können alle Dachsparren am Zentrumsring anschließen oder nur die Hauptsparren. Bei letzteren werden die Nebensparren auf einen Druckring aufgelegt, welcher vorher an die Hauptsparren angeschweißt wird. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Sparren mit Kron- und Dacheckring zu schweißen oder zu schrauben. Aufgrund dieser Vielfalt ist es der sinnvollste Weg, eine Vorortentscheidung über die Montagetechnologie zu treffen. Dabei ist zu klären, in welcher Reihenfolge der Einbau der Sparren erfolgt und wie mit den Besonderheiten der jeweiligen Konstruktion umgegangen wird.

Schwimmdächer werden aufgrund ihres komplizierten Aufbaus in einer Werkshalle gefertigt. Die Anlieferung erfolgt je nach Größe in mehreren Teilen, da der Transport eines kompletten Schwimmdaches meist nur per Schiff möglich ist. Ihr Zusammenbau erfolgt vorort.

Aufgrund der Größe sowie seines Gewichtes ist es gängige Praxis, das Dach in Einzelteilen auf die Baustelle zu liefern und auf dieser zu montieren. In Abhängigkeit von Platz- und Untergrundverhältnissen kann das Dachgespärre innerhalb sowie außerhalb des Behälters gefertigt werden. Die Vorgehensweise ist bei beiden Varianten gleich. Vorteil einer Fertigung innerhalb ist die relativ gute Abschirmung gegen Wind sowie der feste Untergrund, nachteilig sind die gerade zur Tankwand hin stark eingeschränkten Platzverhältnisse.

Für den Aufbau des Dachgespärres ist eine Hilfskonstruktion nötig, der Mittelmast. Er kann je nach Vormontageplatz sowie Größe und Überhöhung des Daches unterschiedlich ausfallen. Der Kron- oder auch Zentrumsring genannt muss auf die benötigte Höhe gebracht, gehalten und gesichert werden. Der Mittelmast sorgt für eine Stützung des unfertigen Dachgerüsts. Übliche verwendete Varianten sind eine Art Hubzylinder mit Kragarmen oder Raumfachwerk. Der Zentrumsring wird im meist im Werk vorgefertigt und komplett auf die Baustelle geliefert. Er besteht aus einem oder mehreren rundgewalzten Profilen, welche ringförmig zusammen geschweißt werden. Anschließend wird eine runde Blechscheibe aufgelegt und mit dem Ring verschweißt. Ist die komplette Dachkonstruktion als reine Schweißkonstruktion gedacht, ist der Zentrumsring bis auf seine Farbkonserverung fertig. Soll jedoch eine Schraubkonstruktion verwendet werden, sind noch die nötigen Vorkehrungen für den jeweiligen Sparrenanschluss zu erledigen. Der letzte Arbeitsgang ist das Aufbringen des Korrosionsschutzes und ein eventuelles Markieren der Anschlussstellen für die Dachsparren.

Letztere werden überwiegend aus genormten Stahlprofilen à la IPE hergestellt. Sie erhalten einen Zuschnitt sowie eine Walzung im Radius des späteren Kugeldaches. Mögliche

Ausklinkungen, Winkelschnitte o.a. sollten aufgrund der größeren Genauigkeit sowie besserer Fertigungsmöglichkeiten bereits in der Werkstatt erfolgen.

Auf dem Baufeld wird als Erstes damit begonnen, den Mittelmast aufzubauen und auszurichten. Es folgt das Auflegen und Ausrichten des Kronringes. An dieser Stelle wird bereits die erste Höhenmessung gemacht, um sicherzustellen, dass sich der Ring in Waage und in der für die Montage benötigten Höhe befindet.

Der nächste Schritt besteht aus Einbau, Heften und Justage des ersten Gespärreträgers. Die anschließend folgenden Sparren werden nach diesem ausgerichtet und geheftet. Ist diese Arbeit beendet, folgt der systemgerechte Einbau der Verbandsstäbe. Bei beiden Montageschritten, Auf- und Einbau des Gespärres sowie der Verbände, sind die notwendigen Fluchten immer zu berücksichtigen und die Überhöhung der Gespärreträger zu kontrollieren. Ist der Zusammenbau und die Kontrolle der Maße erledigt, schließt sich das Abschweißen der kompletten Konstruktion an. Schlussendlich gibt es eine letzte Kontrollmessung.

Nach Fertigstellung der Dachkonstruktion und des Mantels wird das Dachgespärre eingehoben.

### 3.6 Dachmontage

Die Montage des Daches findet meist auf gleiche Art und Weise statt. Am Boden wird die Fertigung des Dachgespärres umgesetzt. Anschließend wird es auf den Behälter gehoben und mit Dachhaut und mit Einbauten komplettiert. Zum Abschluss erfolgt die Herstellung der Mantel-Dach-Verbindung. Dennoch sind unterschiedliche Montagevarianten möglich, die beispielsweise von Größe und Gewicht des Daches, Montagefortschritt, vorhandenen Platzverhältnissen, vereinbarten Terminen sowie Kosten abhängen.

Allgemein ist zu sagen, "dass Hilfsstützen, Hebeösen und Knaggen, die am Tankscheitel oder am Dach befestigt und für den Einbau des Daches verwendet werden, keine Beschädigungen oder bleibende Verformungen hervorrufen dürfen. Unabhängig vom einzubauenden Dachtyp muss während der Errichtung die Standsicherheit stets gewährleistet sein." <sup>[42]</sup>

Mögliche Varianten :

- a) Fertigung des Dachgespärres mit anschließendem Einheben. Verlegung der Dachhaut sowie Ein- und Anbau sonstiger Teile erfolgt auf dem Tank.
- b) Fertigung des Dachgespärres, teilweise Verlegung der Dachhaut sowie eventueller Anbau von Begehungen mit anschließendem Einheben. Verlegung der restlichen Dachhaut sowie Ein- und Anbau sonstiger Teile erfolgt auf dem Tank.
- c) Fertigung des Dachgespärres, vollständige Verlegung der Dachhaut sowie Ein- und Anbau aller Teile mit anschließendem Einheben.
- d) Fertigung des kompletten Daches mit anschließenden letzten Mantelschuss am Boden. Einheben des Daches und Herstellen der letzten Rundnaht.

Um ein Ungleichgewicht des Daches zu vermeiden, muss bei der Montage der Dachbleche auf eine gleichmäßige Gewichtsverteilung geachtet werden. Die Auslegung der Dachbleche erfolgt nach Fertigungszeichnung. „Um das Eindringen von Kondenswasser zu verhindern, ist, sofern nicht anders festgelegt, das untere Blech auf das obere Blech überlappend zu verlegen.“ <sup>[43]</sup> Im Falle, dass die Verlegeart ähnlich der des Bodens ist, erfolgt, je nach Absprache, die Verlegung von der Tankmitte nach außen. Eventuell vorhandene Hilfsstützen dürfen erst nach Abschluss der Montage entfernt werden.

Bei den Varianten a) und b) muss der Fortschritt des Bodens berücksichtigt werden. Für das Einheben von Bodenblechen wie im Fall eines Doppelbodens sind mindestens zwei gegenüberliegende Öffnungen im Dachbereich freizulassen. Bei c) und d) hingegen muss der Boden fertig verlegt sein. Weiterhin muss bei letzteren unbedingt beachtet werden, dass alle

---

<sup>42</sup> DIN EN 14015:2004, 16.8.1 Allgemeines, S.87.

<sup>43</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004 16.8.3 Dachbleche, S.88.

Gegenstände, die nicht Teil des Tanks und zu groß für einen Transport durch die Mannlöcher sind, vor Aufsetzen des Daches aus dem Tank zu entfernen sind. Alle Einbauten im Behälterinneren sollten aufgrund der schlechten Lichtverhältnisse vor der Dachmontage beendet sein. Weiterhin besteht ohne einen Rückbau der Dachhaut keine Möglichkeit, schwere Hilfsgerätschaften zur Montageunterstützung in das Innere des Tanks zu bringen. In der Praxis hat Variante d) gezeigt, dass es trotz vorheriger Messungen zu enormen Abweichungen zwischen dem bereits am Dach montierten, letzten Mantelschuss, und dem vorletzten auf dem Tank befindlichen Mantelschuss kommen kann. In diesem Fall sind zeitaufwendige Anpassungsarbeiten durchzuführen, was die geplanten Zeiteinsparungen fast vollständig zunichtemachen kann. Somit ist von dieser Verfahrensvariante abzuraten.

### **3.7 Mannlochmontage**

Die Montage der Mannlochöffnung im Tankmantel ist von der Größe und dem Aufbau des Mannlochkragens abhängig. Zwei mögliche Varianten für seine Ausführung wurden unter Punkt 1.2 – Stützen bereits erläutert.

Das Herausschneiden des Mantelbleches erfolgt bereits kurz nach der Montage des ersten Mantelschusses. Nach den erforderlichen Mess- und Markierarbeiten wird üblicherweise mit Acetylen-Sauerstoffschneidbrennern ein Loch in den Tankmantel geschnitten. Da Mannlöcher den einzigen Zugang zum Tankinneren gewähren, werden ihre Verstärkungsringe erst gegen Ende der Tankmontage eingebaut.

Bei beiden Mannlochkragenvarianten ist eine mehr oder weniger aufwendige Hilfs- oder auch Haltekonstruktion notwendig. Diese Beschreibung soll den Einbau eines Einsatzbleches mit Stumpfnähten erklären. Zur Vorbereitung wird am Mantelblech eine V-Nahtvorbereitung ausgeführt. Weiterhin werden auf der Tankinnenseite Beulsteifen angebracht, welche vor allem der Verformung entgegenwirken sollen. Weiterhin dienen die Beulsteifen als Montagehalterung, da das Einsatzblech an ihnen angeheftet werden kann. Auf der Außenseite sind nach Einheben, Justieren und Heften, Knaggen an den Tankmantel anzubringen. Vor dem Schweißen sind Keile zwischen Einsatzblech und Knagge zu schlagen. Auf diese Weise ist die der Schweißung gegenüberliegende Seite gegen Abheben gesichert. Zugehörige Bilder befinden sich im Schweißfolgeplan des Mannlochkragens im Anhang.

### 3.8 Sonstige Ein- und Ausbauten

Je nach konstruktiver Ausbildung des Flachbodentanks erfolgt üblicherweise im Zuge der Mantelschussmontage der Einbau von diversen Stützen, Armaturen und falls vorgesehen der Heizung. Ebenfalls findet die Montage von verschiedenen Rohrleitungen, Isolierhalterungen sowie Treppenpodesten, Aufstiegsleitern und Zwischenpodesten statt. Alle aufgezählten Einbauten können auch zu einem späteren Zeitpunkt umgesetzt werden. Allerdings erweist sich diese Methode als nachteilig, da die Zugänglichkeit aufgrund der fehlenden Rüstung stark eingegrenzt ist und die Arbeiten fast vollständig von Hebebühnen und Körben ausgeführt werden müssen.

### 3.9 Temporäre Anbauteile

Grundsätzlich sind für die Errichtung des Behälters zusätzliche temporäre Anbauteile nötig, z.B. Rüstknaggen der Konsolrüstung oder Montageösen. Sie müssen in voller Übereinstimmung mit einem zugelassenen Schweißverfahren geschweißt werden, das für die Werkstoffe, an die sie angeschweißt werden, verwendet wird. Die eingesetzten Schweißzusätze müssen ebenfalls der Zulassung des angewandten Schweißverfahrens entsprechen. "Das für das zugelassene Schweißverfahren vorgeschriebene und angewandte Vorwärmen ist auch bei temporären Schweißnähten anzuwenden." Die Gesamtzahl von Montageösen ist auf ein Minimum zu beschränken. <sup>[44]</sup>

Im Zuge der Fertigstellung des Tanks sind alle temporären Bauteile wieder zu entfernen. "Dabei ist das vom Mantelblech zu entfernende Teil entweder 3 bis 6 mm außerhalb des Tankmantels thermisch zu trennen, oder die Befestigungsnaht ist durch Schleifen oder Meißeln ohne Beschädigung des Mantels zu schwächen, sodass das Anbauteil abgeschlagen werden kann. Die Befestigungsstelle am Mantelblech ist anschließend glatt zu schleifen. Dabei darf keine Vertiefung in der Manteloberfläche entstehen." <sup>[45]</sup>

Es ist zu empfehlen, die beschliffene Fläche auf Risse zu untersuchen. Falls in der Oberfläche Risse oder durch das Schleifen entstandene Kerben sowie Vertiefungen zu finden sind, muss eine Ausbesserung erfolgen. <sup>[46]</sup>

---

<sup>44</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 16.12 Temporäre Anbauteile, S.89 & 18.7 Temporäre Schweißnähte, S.92.

<sup>45</sup> DIN EN 14015:2004, 16.12 Temporäre Anbauteile, S.89.

<sup>46</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 16.12 Temporäre Anbauteile, S.89.

## **4 Schweißplan**

Der folgende Abschnitt stellt eine grundlegende Kurzarbeitsanweisung für Schweißarbeiten dar. In dieser sind Informationen über den Umgang mit den Zusatzwerkstoffen sowie die Arbeitsweise bei Schweißarbeiten zu finden.

### **4.1 Zusatzwerkstoffe**

Generell erfolgt das Rücktrocknen von sämtlichen Zusatzwerkstoffen immer nach Herstellerangaben. Stabelektroden sind auf der Baustelle in beheizten Elektrodenköchern zu lagern und daraus zu verschweißen. Massiv- und Fülldrähte sind zum Arbeitsende aus dem Drahtvorschubgerät zu entnehmen und im Lagerraum für Zusatzwerkstoffe unterzubringen.

### **4.2 Vorbereitung**

Vor dem Schweißen sind Primer, Rost, Zunder oder andere Verschmutzungen der Oberfläche im Schweißnahtbereich 20 mm links und rechts von den Nahtflanken zu entfernen. Zum Beseitigen von eventuellen Resten der Schweißnahtabklebung sind nicht rückfettende Lösungsmittel zu benutzen. Andere geeignete Verfahren wie Schleifen oder Bürsten können ebenfalls angewandt werden. Bei Stumpfnähten sind an den Enden Endkraterblechen mit einer Mindestlänge von 40 mm anzubringen.

### **4.3 Vorwärmen**

Zum Vorwärmen wird ein Propan-Sauerstoff-Gemisch mit Harrisbrenner genutzt. Der Nahtbereich ist vor dem Schweißen von Schweißwasser zu trocknen ( $\geq 80^\circ\text{C}$ ). Ansmelzungen des Grundwerkstoffes sind durch einen ausreichenden Brennerabstand zu vermeiden. Für Heftschweißungen sind die Bereiche ebenfalls vorzuwärmen. Besonders bei Stumpfnahtwurzeln und Kehlnähten ist für eine ausreichende Wärmeeinbringung zu sorgen.

### **4.4 Heftschweißen**

Das Zünden sowie Heftschweißen erfolgt innerhalb der Schweißnahtfuge. Abstand und Länge der Heftstellen variiert je nach Bauteil. Bestimmend sind dessen Geometrie und die bereits vorhandenen Spannungen. Die Länge sollte mindestens 50 mm oder das 3 - 5 fache der Materialdicke betragen. Die Heftreihenfolge richtet sich üblicherweise nach dem einzustellenden Stegabstand. Bei Schweißnahtlängen von mehr als 1000 mm sollte vom kleinsten zum größten Stegabstand bzw. von der Mitte aus im Wechsel nach außen geheftet werden. Vor Beginn der Überschweißung ist eine Sichtprüfung der Hefter durchzuführen. Gerissene Hefter müssen z.B. durch Fugen oder Schleifen ausgearbeitet werden. Zur

Vermeidung von Ansatz- oder Endkraterfehlern sind die Heftnahtanfänge und -enden auszuschleifen.

## 4.5 Schweißen

Eine Grundvoraussetzung, dass Schweißarbeiten vom ausführenden Betrieb durchgeführt werden dürfen, ist seine Herstellerqualifikation. Diese richtet sich nach der Art des Bauwerkes. Weiterhin dürfen die Schweißarbeiten nur von qualifiziertem Personal durchgeführt werden. Die ausgeführten Arbeiten müssen nach dem jeweils gültigen Schweißfolgeplan erfolgen. Die Schweißaufsichtsperson ist zuständig die Überwachung der Einhaltung des Schweißfolgeplans. Ebenfalls ist sie für die Schweißdokumentation verantwortlich.

Sind Schweißarbeiten mit Lichtbogenhandschweißen in der PF-Position auszuführen, müssen Zündstellen vor dem Überschweißen beseitigt werden. Nach Fertigstellung erfolgt eine 100%ige Sichtprüfung der Schweißnaht durch den Schweißer und die Schweißüberwachungsperson.

Die Grundsätze Quernaht vor Längsnaht sowie Stumpfnaht vor Kehlnaht behalten ihre volle Gültigkeit und sind zu berücksichtigen. Weiterhin sind Kehlnähte durchlaufend oder von der Mitte nach außen zu schweißen. Falls nicht anders vereinbart sind bei Verbindung von Bauteilen mittels Doppelkehlnaht diese als umlaufende Naht auszuführen. Dabei sind Ansätze oder Endstellen nicht an hervorspringenden oder innenliegenden Ecken auszuführen. Der Abstand von Ansatz- und Endstellen zueinander hat mindestens die einfache Blechdicke zu betragen.

Für das Lichtbogenhandschweißen ist in den Positionen PA, PE und PF der vierfache Kerndrahtdurchmesser als maximale Pendelbreite erlaubt. Weiterhin sind in PC-Position Zugraupen zu schweißen. Die Fallnahtposition PG ist nur dann erlaubt, wenn die Stützlage die mit dieser Position ausgeführt wurden ist, wieder komplett herausgearbeitet wird.

Für das MAG-Schweißen mit Fülldrahtelektrode gilt eine maximal zulässige Pendelbreite von 15 mm. HV-Nähte in den Positionen PA und PC sind zur Vermeidung von Bindefehlern immer an der geraden Nahtflanke beginnend kehlnahtförmig aufzubauen. Bei räumlichen Bauteilen ist die Reihenfolge der Schweißnähte so abzustimmen, dass sich die auftretenden Schrumpfmomente gegenseitig aufheben.

## 4.6 Nacharbeiten

Zündstellen außerhalb des Schweißnahtbereiches sind nicht zulässig und werden durch Beschleifen in Beanspruchungsrichtung beseitigt. Rückstände von Schweißrauch sowie anhaftende Schweißspritzer werden nach dem Schweißen entfernt.

## **5 Schweiß- und Trennverfahren**

Bevor die Schweißtechnologie des jeweiligen Bauteils erläutert wird, soll kurz auf die Anforderungen an den Schweißer, die verwendeten Zusatzwerkstoffe des jeweiligen Schweißverfahrens sowie seine Ausführung unter Baustellenbedingungen eingegangen werden. Im Anschluss daran befinden sich die üblicherweise angewendeten Trenn- und Bearbeitungsverfahren.

### **5.1 Anforderungen an den Schweißer**

Schweißer müssen nach DIN EN 287-1 qualifiziert und im Besitz von mindestens einer gültigen Prüfung sein, damit sie das jeweilige Schweißverfahren innerhalb seines Gültigkeitsbereiches offiziell ausführen dürfen. Ähnlich gestaltet es sich bei den Bedienern der UP-Geräte, nur dass ihre Qualifizierung nach DIN EN 1418 erfolgt.

Schweißerprüfzeugnisse unterliegen einer Kontrollpflicht und sind nicht unbegrenzt gültig. Deshalb sind Schweißerzeugnisse nach sechs Monaten durch die Schweißaufsichtsperson zu verlängern. Wenn ein Schweißer jedoch sechs Monate nicht als solcher arbeitet, ist vor Beginn der Schweißarbeiten eine Wiederholungsprüfung durchzuführen. Die Gültigkeit des Schweißerzeugnisses läuft generell nach zwei Jahren aus, somit muss zu diesem Zeitpunkt eine Wiederholungsprüfung absolviert werden.

Normalerweise müssen Schweißer die ihnen übertragenen Schweißarbeiten nach den Regeln der Technik, betrieblichen Vorschriften, technischen Unterlagen, Schweißplan, -technologie und dem -folgeplan eigenverantwortlich ausführen. Weiterhin ist das Schweißen von Schweißnahtfugen, die nicht zeichnungsgerecht ausgeführt wurden bzw. deren Ausführung gegen die Festlegung des Schweißplanes und der -technologie verstößt, vom Schweißer begründet abzulehnen.

Der Großteil aller Schweißarbeiten erfolgt in Zwangslage oder in Höhen, welche unnatürliche Körperhaltungen voraussetzen. Dies verlangt große Geschicklichkeit und körperliche Einsatzbereitschaft vom Schweißer.



## 5.2 Schweißverfahren

### Verfahren Nr. 111 - Lichtbogenhandschweißen

"Beim Lichtbogenhandschweißen brennt der Schweißlichtbogen zwischen einer umhüllten abschmelzenden Stabelektrode und dem Werkstück. Der Schweißlichtbogen und das grundwerkstoffseitige Schmelzbad werden vor dem Zutritt der Luft durch das sich aus der Umhüllung bildende Schutzgas und einer Schlacke geschützt." <sup>[47]</sup>

Aufgrund seiner "Vielseitigkeit in allen Schweißpositionen und der besonders guten Anwendbarkeit im Freien" könnten mit diesem Schweißverfahren alle im Behälterbau anfallenden Schweißarbeiten durchgeführt werden. <sup>[47]</sup> Die höhere Abschmelzleistung anderer Verfahren ist jedoch Hauptkriterium für eine Vermischung der verschiedenen Prozesse. Hauptsächlich eingesetzt wird das Lichtbogenhandschweißen, wenn andere Verfahren wie MAG-Schweißen mit Fülldrahtelektrode aufgrund der gegebenen Verhältnisse nicht ausführbar sind, Wurzelschweißungen für das UP-Schweißen notwendig werden, Ausbesserungsarbeiten stattfinden und temporäre Bauteile anzubringen sind.

Aufgrund der im Verhältnis zu anderen Schweißverfahren sehr kleinen und handlichen Geräte, ist dieses Verfahren sehr schnell und ohne viel Aufwand einsetzbar, was es für Reparaturen geradezu prädestiniert. Größter Vorteil ist der bei entsprechendem Wetter ungeschützt mögliche Einsatz im Freien. Bei Schweißarbeiten von kurzer Dauer wie der Lagesicherung der Bodenbleche, Anbringen der Rüstknaggen, Anheften und Abschweißen der Beulsteifen wäre eine Einhausung schlecht realisierbar oder ist in den meisten Anwendungsfällen nicht notwendig bzw. für den kurzen Zeitraum zu langwierig. Dennoch empfiehlt es sich je nach Lage am Tank, bei aufwendigeren und länger andauernden Arbeiten den Bereich gegen Umwelteinflüsse leicht abzuschirmen, z.B. bei der Ankermontage oder dem Schweißen der äußeren Boden-Mantel-Verbindung.

Im Behälterbau wird grundsätzlich mit Stabelektroden des basischen Typs geschweißt.

---

<sup>47</sup> Unterlagen SFI 2011, 1.09-1 Lichtbogenhandschweißen I, 1.Einleitung,Verfahrensprinzip, S.1.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die für den Tankbau üblichen Schweißerprüfungen für das Lichtbogenhandschweißen und zeigt seine möglichen Einsatzbereiche auf.

Position	Prüfbezeichnung	Einsatzbereich
PA	DIN EN 287-1 111 P BW 1.2 B t14 PA ss nb	Bodenbleche, Dachhaut, Randsegmente
PB	DIN EN 287-1 111 P FW 1.2 B t14 PB ml	Bodenbleche, Dachhaut
PC	DIN EN 287-1 111 P BW 1.2 B t14 PC bs	Rundnaht, Rundnahtreparatur
PD	DIN EN 287-1 111 P FW 1.2 B t14 PD ml	Dachgespärre, Versteifungsringe
PF	DIN EN 287-1 111 P BW 1.2 B t14 PF ss nb	Stehnahtreparatur
PF	DIN EN 287-1 111 P FW 1.2 B t14 PF ml	Rüstknaagge, Ösen, Temporäre Bauteile

Tabelle 2: Schweißerprüfungen Verfahren 111

### **Verfahren Nr. 121 - Unter Pulverschweißen**

"Der Lichtbogen brennt unsichtbar zwischen einer abschmelzenden Elektrode und dem Werkstück oder zwischen zwei abschmelzenden Elektroden. Lichtbogen und Schweißzone werden durch eine Pulverschicht abgedeckt. Das Schweißbad wird vor dem Zutritt der Atmosphäre durch die aus dem Pulver gebildete Schlacke geschützt." <sup>[48]</sup>

Das UP-Schweißen ist das Verfahren mit dem höchsten thermischen Wirkungsgrad. Daraus resultiert eine hohe Abschmelzleistung, welche durch hohe Schweißgeschwindigkeiten und ein größeres einmaliges Nahtvolumen erreicht wird. Generell besteht nur eine sehr eingeschränkte Korrekturmöglichkeit sowie Positionsauswahl, weshalb es vorrangig für lange, gerade Nähte eingesetzt wird. Weiterhin ist die meist große und aufwendige Gerätetechnik ein Kriterium für die Einsatzplanung.

Im Tankbau gibt es mehrere Anwendungsmöglichkeiten für das UP-Schweißen: die Längsnähte des Bodens, die Rundnähte des Mantels sowie die Boden-Mantel-Verbindung. Auf dem Boden kommen so genannte UP-Traktoren zum Einsatz, welche sich auch für die Bogenform der Boden-Mantel-Verbindung eignen. Für die Rundnaht wird wie bereits in Punkt 2.2 - Schweißgeräte und Automaten beschrieben, das UP-Rundnahtgerät eingesetzt.

Verwendetes Schweißpulver ist ein agglomeriertes, mittelbasisches Universal-Schweißpulver des aluminatbasischen Typs, kurz EN 760 SA AB 1 67 AC H5. Dieses ist für den Einsatz an unlegierten, warm- sowie wetterfesten Stählen für Stumpf- und Kehlnähte gedacht. Weiterhin besitzt es gute Schweißigenschaften an Gleich- und Wechselstrom. Die eingesetzte

<sup>48</sup> Unterlagen SFI 2011, 1.10-1 Unterpulverschweißen I/II, 1.1 Definition UP-Schweißen nach DIN EN 14610, DIN 1910-100, S.1.

Drahtelektrode mit einem Drahtdurchmesser von 3,0 mm für das UP-Schweißen entspricht dem Typ EN ISO 14171-A S2. Dies ist eine verkupferte Drahtelektrode, welche für unlegierte Bau-, Feinkornbaustähle u.a. geeignet ist.

Da beim UP-Schweißen eine sehr starke Vermischung der unterschiedlichen Lagen stattfindet, können Fehler von der Wurzel bis in die Decklage hindurch gezogen werden. Ebenfalls möglich ist die Mitnahme von Fehlern in Schweißrichtung. Unter Baustellenbedingungen ist deshalb Wert auf eine besonders gründliche Vorarbeit zu legen. Diese beinhaltet u.a. das Säubern der Naht mit der Drahtbürste o.a. sowie das Trocknen und gleichzeitige Vorwärmen. Weiterhin sind die Lagerung des Pulvers sowie der Schweißzusätze nach Herstellerangaben unbedingt einzuhalten.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die für den Tankbau üblichen Bedienerprüfungen für das Unter Pulver Schweißen und zeigt seine möglichen Einsatzbereiche auf.

Position	Prüfbezeichnung	Bereiche
PA	DIN EN 1418 121 P BW 1.2 S t14 PA ss mb	Bodenblechlängsnähte
PB	DIN EN 1418 121 P FW 1.2 S t14 PB ml	Bodenblechlängsnähte, Boden-Mantelverbindung
PC	DIN EN 1418 121 P BW 1.2 S t14 PC bs	Rundnähte

Tabelle 3: Schweißerprüfungen Verfahren 121

### **Verfahren Nr. 136 - MAG Schweißen mit Fülldrahtelektrode**

"Das MIG/MAG-Schweißen ist ein Lichtbogenschweißverfahren mit einer endlosen, abschmelzenden Drahtelektrode unter einer Schutzgasabdeckung. Das MAG-Schweißen kann teilmechanisch mit von Hand geführtem Brenner oder vollmechanisiert eingesetzt werden. Es wird Gleichstrom verwendet, die Drahtelektrode ist in der Regel am Pluspol."<sup>[49]</sup>

Die Fülldrahtelektroden selbst sind rein äußerlich kaum bzw. gar nicht von Massivdrahtelektroden zu unterscheiden. Sie bestehen aus einer metallischen, rohrförmigen Umhüllung und mit pulverförmiger Füllung, welche aus mineralischen und / oder metallischen Stoffen besteht. Die Füllstoffe können je nach Zusammensetzung in Verbindung mit dem Schutzgas Einfluss auf die Lichtbogenstabilität, Spritzerbildung, Raupenprofil, -oberfläche, Schlackenentfernbarkeit, Nahtaufbau in Zwangslagen und mechanisch-technologische Schweißguteigenschaften haben.

In den Positionen PA und PB kann ein Metallpulverfülldraht T 46 2 M M 1 H5 genutzt werden. In der PC, PF-Position wird ein rutiler, 1,2 mm Fülldraht EN ISO 17632-A T 46 2 P M 1 H5

<sup>49</sup> Unterlagen SFI 2011, 1.08-1 MIG/MAG- und Fülldrahtschweißen I, 1. Kennzeichnung, S.1.

verwendet, alternativ wird dieser auch in den Positionen des Metallpulverdrahtes eingesetzt. Das zugehörige Schutzgas ist ein M21 Mischgas nach DIN EN ISO 14175. Gründe für diese angewendete Kombination sind die schnell erstarrende Schlacke, die Anwendbarkeit in allen Positionen und ein sehr spritzerarmer, ruhiger Schweißprozess durch stete Sprühlichtbogenausbildung in einem breiten Parameterbereich. Selbst eine Verwendung bei Wurzelschweißungen ist in Verbindung mit keramischer Badsicherung möglich. Der Hauptvorteil ist jedoch die bis zu doppelt so hohe Abschmelzleistung gegenüber dem Massivdraht in der PF-Position, in welcher der Großteil der zu schweißenden Nähte erfolgt.<sup>[50]</sup>

Durch Verwendung von keramischen Badsicherungen wird eine einseitige Schweißnaht möglich. Dies erspart den zeitaufwändigen Seitenwechsel und ermöglicht höhere Abschmelzleistungen durch höhere Schweißströme. Diese höheren Ströme erzeugen in Kombination mit dem Schutzgas einen tieferen sowie breiteren Einbrand, welcher das Risiko einer möglichen Fehlerbildung stark minimiert. Weiterhin können kleinere Stegabstände ausgeglichen werden, was das Ausrichten der Bleche vereinfacht und Zeit spart. Ebenfalls Zeiteinsparung bedeutet die gleichzeitige Ausbildung einer Wurzellage auf der Gegenseite. Dank ihr entfällt das Ausfugen und Schweißen der Kapplage.

Nachteilig für das MAG Verfahren ist, dass Nahtanfangs- sowie Nahtansatzbindefehler nicht immer vermeidbar sind und somit ein gewisser Mehraufwand entsteht. Es müssen Endkraterbleche angeheftet und Nahtansätze be- bzw. ausgeschliffen werden. Diese Fehler resultieren daraus, dass gleichzeitig mit Beginn der Wärmeeinbringung durch den Lichtbogen auch Zusatzdraht abgeschmolzen wird. Weiterhin muss zur Fehlervermeidung immer eine Schutzgasatmosphäre vorhanden sein. Dies gelingt unter Baustellenbedingungen nur durch zusätzliches Einhausen der Schweißstelle.<sup>[51]</sup>

---

<sup>50</sup> Vgl. ESAB OK Tubrod PDF

<sup>51</sup> Unterlagen SFI 2011, 1.08-1 MIG/MAG- und Fülldrahtschweißen I, 3. Nachteile, S.2.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die für den Tankbau üblichen Schweißerprüfungen für das MAG-Schweißen mit Fülldrahtelektrode und zeigt seine möglichen Einsatzbereiche auf.

Position	Prüfbezeichnung	Bereiche
PA	DIN EN 287-1 136 P BW 1.2 M t14 PA ss mb	Bodenbleche, Dachhaut, Randsegmente
PB	DIN EN 287-1 136 P FW 1.2 M t14 PB ml	Bodenbleche, Dachhaut
PC	DIN EN 287-1 136 P BW 1.2 P t14 PC bs	Anbauten, Rundnaht
PD	DIN EN 287-1 136 P FW 1.2 P t14 PD ml	Dachgespärre, Versteifungsringe
PF	DIN EN 287-1 136 P BW 1.2 P t14 PF ss mb	Stehnaht
PF	DIN EN 287-1 136 P FW 1.2 P t14 PF ml	Anbauten, Temporäre Bauteile

Tabelle 4: Schweißerprüfungen Verfahren 136

### **Verfahren Nr. 141 - WIG-Schweißen**

„Im Schweißbrenner ist eine Wolframelektrode eingespannt, in der der Schweißstrom eingeleitet wird. Zwischen der Wolframelektrode und dem Werkstück entsteht ein Lichtbogen, der den Grundwerkstoff aufschmilzt und den eingeführten Schweißstab abschmilzt. Aus dem Schweißbrenner strömt inertes Schutzgas und schirmt die glühende Wolframelektrode und das Schweißbad vor Luftzutritt ab.“<sup>[52]</sup>

Im Behälterbau wird dieses Verfahren üblicherweise für Wurzelschweißungen eingesetzt. Häufig ist es bei Stützen oder Mannlöchern zu finden. Durch Auswahl geeigneter Elektroden sowie Schweißfolgen können diese Arbeiten allerdings mit MAG-Schweißen ausgeführt werden, wenn diese eine beidseitige Zugänglichkeit bieten. Besteht jedoch nur eine einseitige Zugänglichkeit ist der Einsatz der WIG-Technik für Wurzelschweißungen die sicherste Lösung.

In der Annahme dass eine beidseitige Zugänglichkeit besteht, findet dieses Verfahren in der Beschreibung der Schweißtechnologie keine Berücksichtigung.

<sup>52</sup> Unterlagen SFI 2011, 1.07-1 WIG Schweißen I, 1. Prinzip, S.1.

## **5.3 Übersicht Trenn- und Bearbeitungsverfahren**

### **Trennschleifen**

Für das Trennschleifen auf der Baustelle werden üblicherweise Ein- oder Zweihandwinkelschleifer benutzt. Von Vorteil sind ihre kompakte Bauweise und die schnelle Wechsellmöglichkeit von Schleif- / Schneidmitteln. Bei ordnungsgemäßer Anwendung kann eine ebenso gute Oberfläche hergestellt werden, wie sie vor dem Anbringen des Bauteils vorzufinden war.

Grundlegend ist zu sagen, dass durch Schleifarbeiten keinerlei Kerben oder Untermaße entstehen dürfen. Sollte dies dennoch der Fall sein, müssen Ausbesserungsarbeiten stattfinden.

### **Brennschneiden**

Das Brennschneiden mit Acetylen und Sauerstoff wird im Behälterbau für den Zuschnitt der Boden- sowie Dachbleche genutzt. Weiterhin erfolgen Ausschnitte für Mannlöcher und Stutzen. Sonstige anfallende Schneid- und Vorarbeiten können dank der einfachen Technik unter Zuhilfenahme eines Sekators oder Klettergerätes sauber, schnell und präzise ausgeführt werden. In Abhängigkeit von den Schnittparametern und der Erfahrung des ausführenden Arbeiters kann die erzeugte Schnittqualität so gut sein, dass aufwendiges Nachschleifen fast komplett entfällt.

### **Plasmaschneiden**

Eine weitere Möglichkeit für das Trennen von Blechen ist das Plasmaschneiden. Dieses wird auf der Baustelle aufgrund seiner allgemein höheren Investitionskosten, im Vergleich zum autogenen Brennschneiden, nur selten angewendet. Dennoch sollte es wegen seiner höheren Schnittqualität und -geschwindigkeit bei langen, geraden Schnitten, welche beispielsweise bei Reparaturen vorkommen, sowie der geringeren Wärmeeinflusszone gegenüber dem autogenen Trennverfahren in Erwägung gezogen werden.

### **Kohle-Lichtbogen-Fughobeln**

Das Kohle-Lichtbogen-Fughobeln besitzt eine Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten. Es ist eine Alternative zur mechanischen Bearbeitung von Schweißnähten durch Fräsen, Meißeln oder Schleifen. Es wird als Ersatz für das Brennschneiden oder autogenes Fughobeln im Stahlbau angesehen. Hauptaugenmerk liegt auf dem Ausfugen von Wurzelschweißungen bei Stumpfnähten oder der Reparatur von fehlerhaften Schweißnähten. Weiterhin wird es für Sanierungsarbeiten wie dem Abtrennen von Nietköpfen genutzt.

Die für dieses Verfahren notwendige Gerätetechnik umfasst eine Stromquelle, welche 400-600 Ampere liefert, einen Fughobel, Druckluft mit einem Druck von 6 bar und einer Volumenleistung von 2 m<sup>3</sup>/h sowie Kohleelektroden von 6 - 10 mm Durchmesser.

Beim Kohle-Lichtbogen-Fughobeln brennt der Lichtbogen zwischen der Kohleelektrode und dem negativ gepolten zu bearbeitenden Werkstück. Der Lichtbogen schmilzt den Werkstoff auf. Gleichzeitig strömt durch eine Düse des Fughobels Druckluft aus, welche das flüssige Metall aus der Fuge bläst. Zu berücksichtigen ist dabei unbedingt, dass der Lichtbogen nur in dem auszufugenden Bereich gezündet wird. Zündfehlstellen müssen durch Schleifen beseitigt werden.

Vorteilhaft sind der nur sehr punktuelle und geringe Wärmeeintrag sowie die entstehende saubere Trennfläche. Sie benötigt nur eine leichte Nachbearbeitung, wenn sie als Schweißnahtvorbereitung dient.

Als nachteilig erweist sich der sehr starke Funkenflug und die hohe Geräusentwicklung.

Zum Arbeitsschutz ist zu sagen, dass dieser beim Kohle-Lichtbogen-Fughobeln besonders zu beachten ist und Schutzmaßnahmen ergriffen werden müssen. Diese richten sich nach der BGR 500 2.26 " Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren". Zusätzlich sind bereits konservierte oder beschichtete Konstruktionen gegen den Funkenfluges bzw. Ablagerungen zu schützen.

## **6 Schweißtechnologie eines Flachbodentankbauwerks**

### **6.1 Schweißen der Randsegmente**

Für das Schweißen der Randsegmente werden je nach Witterungsbedingungen und vorhandenen Einhausungen das Lichtbogenhandschweißen oder das MAG-Schweißen mit Fülldraht verwendet. Bevorzugt wird mit Verfahren 136 gearbeitet, da es bei ordnungsgemäßer Ausführung im Vergleich zum E-Handschweißen weniger Arbeitszeit benötigt. Die Vorgehensweisen sind jedoch bei beiden Verfahren ähnlich.

Da die Verbindung der Randsegmente mittels einer voll durchgeschweißten Stumpfnahht erfolgen soll, ist als Nahtvorbereitung eine V-Naht zu planen. Wie bereits unter Punkt 1.2. - Boden erwähnt, wird eine Blechbadsicherung verwendet. Zusätzlich sind Endkraterbleche anzubringen.

Nach entsprechender Vorbereitung des Schweißnahtbereiches kann mit der Wurzellage begonnen werden. Geschweißt wird dabei von innen nach außen. Nach Beendigung sind die Schlacke zu entfernen sowie die Nahtansätze und die Schweißraupe zu beschleifen. Es folgen die Fülllagen auf gleiche Weise, jedoch ist die maximale Pendelbreite von  $\leq 15$  mm in der PA-Position einzuhalten. Ebenfalls zu beachten ist, dass die Nahtanfänge sich nicht an der gleichen Stelle wie die der jeweils darunter liegenden Naht befinden. Auf diese Weise werden mögliche Fehleranhäufungen vermindert. Diese Arbeitsweise wird als kaskadenförmiger Nahtaufbau bezeichnet.

Nach Fertigstellung der Decklage müssen die Endkraterbleche abgetrennt werden. Anschließend sind Nahtansätze, Überhöhungen, Schnittkanten der Auslaufbleche und andere mögliche Unregelmäßigkeiten oberflächlich zu verschleifen. Anschließend sind die komplette Nahtoberfläche sowie der Schweißnahtbereich für die Sichtprüfung zu bürsten. Nach der Fertigstellung erfolgt eine Zerstörungsfreie Prüfung.



## 6.2 Schweißen des Bodens

### Schweißfolge des Bodens

Wie bereits bei 3.1 - Verlegung des Bodens beschrieben, wird der Boden nach den Angaben des Auftraggebers verlegt. Grundlegend ist jedoch, dass alle Bodenquernähte vor den Längsnähten zu schweißen sind.

Da nach DIN EN 14015 von einem Boden mit Überlappung auszugehen ist, erfolgt die Beschreibung des Schweißfolgeplans für diesen, kann aber mit Abwandlungen auch für Böden mit Stumpfstößen gelten. Begonnen wird generell in der Bodenmitte. Dort wird mit den Quernähten der am tiefsten liegenden Bodenlängsplatte angefangen. Anschließend wird von der Bodenmitte im Wechsel nach außen vorgegangen.

Für die sich links und rechts daneben anschließenden Längsbahnen ist die Arbeitsweise gleich, immer von den am tiefsten liegenden Quernähten im Wechsel nach außen. Von keiner wesentlichen Bedeutung ist, welche Bodenhälfte, ob links oder rechts, zuerst verschweißt wird. Dies ist von der Zahl der eingesetzten Schweißer abhängig und kann parallel zueinander ausgeführt werden. Sind alle Querstöße der Längsplatten (2) verschweißt, kann mit den Längsnähten begonnen werden. Dort wird von den mittlersten Längsbahnen in Richtung der Querplatten (1) gearbeitet. Dies kann im Wechsel geschehen oder parallel.

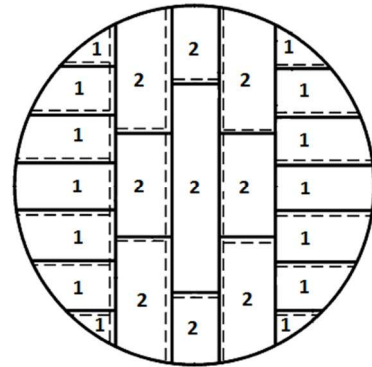


Abbildung 26: Bodenlängs- und -  
Querplatten

Bei den Querplatten werden ebenfalls alle Querstöße von der Mitte nach außen im Wechsel geschweißt. Die Fertigung der Quernähte der Bodenquerplatten kann unabhängig von den Längsnähten der Bodenlängsplatten erfolgen. Jedoch müssen alle Quernähte fertig sein, bevor die letzte Längsnaht, die Bodenlängs- und Bodenquerplatten verbindet, geschweißt werden darf.

Alle Nähte sind im Pilgerschrittverfahren zu schweißen.

Im Anhang befindet sich der gezeichnete Schweißfolgeplan für den Boden.

### **Boden-Mantel-Verbindung**

In Abhängigkeit von der Anzahl der Schweißer sowie der Größe des Behälters wird die Naht in vier, sechs, acht oder mehr Segmente unterteilt. Ein Schweißer arbeitet innerhalb dieses vorgegebenen Bereichs, ihm direkt gegenüber auf der anderen Seite des Tanks ein anderer. Unter Zuhilfenahme dieser Arbeitsweise können die auftretenden Schrumpfmomente so beeinflusst werden, dass sie sich gegenseitig aufheben.

#### **Schweißfolge der Boden-Mantel-Verbindung**

Mit der Boden-Mantel-Verbindung wird auf der Außenseite des Tanks begonnen. Schrittweise werden die Führungsknaggen der Mantelbleche entfernt und der Mantel an den Boden geheftet. Nach Abschluss der Heftarbeiten wird mit der Wurzelschweißung begonnen. Diese ist vollständig zu beenden bevor mit den Füll- oder Decklagen begonnen werden kann. Die Schweißer arbeiten dabei in ihrem zugeteilten Segment unter Verwendung des Pilgerschrittverfahrens. Es folgen die Füll- und Decklagen immer in Abhängigkeit vom vorgegebenen a-Maß. Bei den Zwischen- und Decklagen ist auf eine kaskadenförmige Anordnung der Endkrater zu achten.

Auf der Innenseite ist die Vorgehensweise ähnlich. Es findet ebenfalls eine Unterteilung in Bereiche statt, nur sind keine Heftarbeiten mehr auszuführen. Die Kehlnaht der Innenseite kann somit komplett mit dem UP-Traktor ausgeführt werden, ebenfalls im Pilgerverfahren. Wie bereits in Abschnitt 1.2 - Boden erwähnt, sind diese Kehlnähte mindestens zweilagig auszuführen.

#### **Schweißfolge der Randsegment-Boden-Verbindung**

Mit der Herstellung dieser Verbindung darf erst begonnen werden, wenn der Boden sowie die Boden-Mantel-Verbindung vollständig fertiggestellt sind. Die Vorgehensweise ist gleich der Boden-Mantel-Verbindung jedoch ist die Wurzellage wie bei den restlichen Überlappungen des Bodens mit Lichtbogenhandschweißen auszuführen.

### **Details und Anweisungen**

Es ist möglich, Verbindungen des Bodens mit den Verfahren 111, 121 oder 136 zu schweißen. Vorrangig wird, falls anwendbar, 121 das UP-Schweißen genutzt. Für alle Schweißungen des Tankbodens sind Gewichte in die unmittelbare Umgebung zu legen. Diese sollen ein Aufwölben des Bodens verhindern und den entstehenden Verzug minimieren.

Üblicherweise wird am Boden eine Kombination von Lichtbogenhandschweißen und UP-Schweißen durchgeführt. Bei der Boden-Mantel-Verbindung hingegen ist es üblich, die Kehlnähte mit dem Unter Pulververfahren zu schweißen. Auf der Außenseite sind jedoch die Gegebenheiten zu beachten und eine passende Schweißtechnologie auszuwählen.

Die Ausführung der Wurzellage mit Lichtbogenhandschweißen bei Überlapp- sowie Stumpfstoßböden beruht auf Praxiserfahrungen. Aufgrund der Länge der Nähte kann es zu Abweichungen in der Vorbereitung oder Unebenheiten kommen. Mit E-Handschweißen können diese Abweichungen einfacher überschweißt werden, da es eine bessere Modellierung der Naht zulässt. Weiterhin spielen die Zeiträume von der Verlegung bis hin zum Schweißen eine Rolle. Die Bleche werden verlegt, abgeheftet und erst nach einiger Zeit verschweißt. Feuchtigkeit und Schmutz gelangen in diesem Zeitfenster in die Zwischenräume. Selbstverständlich wird die zu schweißende Stelle vor Beginn der Schweißarbeiten gesäubert und getrocknet. Jedoch können Partikel, welche sich unterhalb der Überlappung befinden, nicht mehr entfernt werden. Gelangen diese Partikel durch Aufschmelzen des Grundwerkstoffes in das UP-Schweißbad und / oder das Pulver zieht bzw. nimmt Feuchtigkeit an, ist eine der möglichen Folgen Porenbildung innerhalb der Naht. Da das MAG-Schweißen mit Fülldrahtelektrode diesbezüglich die größte Anfälligkeit besitzt, wird es in den meisten Fällen nur angewendet, wenn unmittelbar nach dem Verlegen der Bodenplatten die Wurzellage erfolgt.

Beim E-Handschweißen findet ebenfalls die Aufnahme dieser Partikel statt. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass das Lichtbogenhandschweißen diesbezüglich resistenter ist. Einige Fremdpartikel können aufgrund der Zirkulation des Schweißgutes sowie der Schlacke aus dem Schweißgut heraus gespült und innerhalb der Schlacke gebunden werden. Dennoch ist bei jeder Wurzelschweißung auf mögliche Fehler und eine ausreichend gute Vorbereitung zu achten.

Für die Wurzellage der Boden- oder auch Boden-Mantel-Verbindung wird eine basische Elektrode mit einem Kerndrahtdurchmesser von 3,2 mm verwendet. Die für das UP-Schweißen genutzten Zusatzwerkstoffe sind unter Punkt 5.2 Verfahren Nr. 121 – Unter Pulverschweißen bereits genannt worden. Sind die Füll- und / oder Decklagen aufgrund diverser Umstände, wie z.B. eine große Anzahl an Elektroden-Schweißern auf der Baustelle oder ein Ausfall des UP-

Gerät, nicht mit dem UP-Verfahren möglich, ist es gängige Praxis für diese Lagen 4,0 er oder größere RR-Elektroden zu verwenden. Diese Hochleistungselektroden besitzen gegenüber der rein basischen Variante eine höhere Ausbringung siehe Tabelle 5. Ihre Verwendung ist aufgrund der nicht dynamischen Belastung des Tankbodens genehmigt.

Typ	Länge in mm	Durchmesser in mm	Ausbringung in %	Kg Schweißgut pro Stunde Brennzeit
OK 48.00 - E 42 4 B 42 H5	450	3,2	119	1,5
OK 48.00 - E 42 4 B 42 H5	450	4,0	123	2,1
OK Femax 33.60 - E 42 0 RR 5 3	450	3,2	160	2,2
OK Femax 33.60 - E 42 0 RR 5 3	450	4,0	160	3,1

**Tabelle 5: Vergleich von basischen und rutilen Elektroden**

Besonderheit von Überlappböden ist der Eckbereich der Bleche. An diesen Stellen kommt es zu einer Überlappung von drei Blechen. Unter Punkt 8.4.1 Herstellung, der DIN EN 14015 ist eine Anweisung zu finden. Diese besagt, dass das obere Blech flach zu hämmern ist und anschließend verschweißt wird. Kommt es zu einem Überstand des obersten Bleches gegenüber dem dazwischenliegenden, muss das oberste Blech zurückgeschnitten werden. Obwohl sich diese Vorgehensweise auf die Verwendung von unterschiedlichen Materialdicken bezieht, wendet man in der Praxis sie auch bei gleichen Dicken an.

Nach Punkt 16.7.1 der DIN EN 14015 darf der maximale Spaltabstand zwischen dem aufgesetzten ersten Mantelschuss und dem Boden / Bodenrand nur drei Millimeter betragen. Um diese Vorgabe einzuhalten, empfiehlt sich mit dem Verschweißen von Boden und Mantel frühestens nach der Montage des zweiten Schusses zu beginnen. Die Boden-Mantel-Verbindung ist als beidseitig durchgehende Kehlnaht auszuführen. Begonnen wird auf der Außenseite. Bei der inneren Rundnaht der Boden-Mantel-Verbindung wird sich das Randsegment, in Abhängigkeit vom a-Maß der Schweißnaht, aufgrund des einseitigen Wärmeeintrages und der damit verbundenen Schrumpfung von der Gründung weg nach oben wölben. Um diese Verformung bzw. Aufwölbung zu verhindern, sind die Randsegmente mit Gewichten zu beschweren, durch Einschweißen von Profilen abzustützen oder mit Hilfe von Winden in ihrer Lage zu halten.

## 6.3 Schweißen des Mantels

### Anrichten der Stehnahte

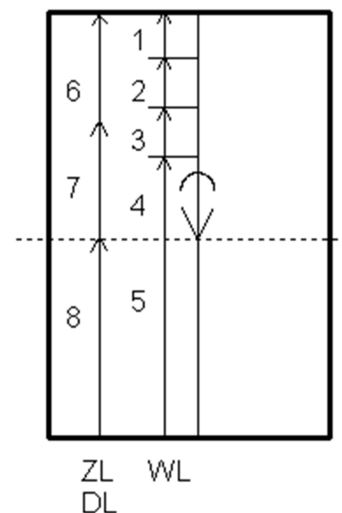
Bereits bei der Montage der Mantelbleche wird eine grobe Einstellung des Schweißspaltes vorgenommen. Für die Schweißvorbereitung wird allerdings an der Oberkante der Mantelbleche eine Stehnahtspindel oder -brücke angebracht. Mit ihrer Hilfe können die Bleche zu- oder voneinander weg gedrückt werden.

Im Normalfall sollten die Stöße aufgrund der Vorbereitung immer gleich zueinander ausgerichtet sein. Meist variieren jedoch die Ausrichtung des Spaltes sowie die Gegebenheiten. Das Anrichten der Stehnaht ist von den Erfahrungen des Schlossers und des Schweißers abhängig. Sie entscheiden, ob mehr oder weniger Hefter gesetzt werden bzw. wie lang sie diese schweißen und in welcher Reihenfolge. Ziel ist es, einen möglichst gleichmäßigen Schweißspalt zu bekommen sowie die Bleche ohne Versatz auszurichten.

Nach dem Abheften wird damit begonnen, die Radiusbleche anzubringen, üblicherweise drei Stück. Falls jedoch das Mantelblech überwalzt sein sollte oder andere Umstände es nötig machen, können auch mehr verwendet werden. Die Radiusbleche sind an den äußeren Enden auf einer Länge von mindestens 50 mm mit dem Mantelblech zu verschweißen. Mittels Radiusblechen sowie Keilen erfolgt die Ausrichtung der Bleche zueinander, weiterhin wirken sie stabilisierend und bringen eine Vorspannung auf.

### Schweißen der Stehnahte

Alle Stehnahte sind im Pilgerschrittverfahren zu schweißen und entsprechend vorzuwärmen. Die Einteilung der V-Naht in PF - Position sollte in etwa dieser Anordnung entsprechen und muss den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden. Begonnen wird mit der Wurzellage (WL). Erst nachdem diese komplett verschweißt wurde ist darf mit der Zwischenlage (ZL) begonnen werden. Zum Abschluss wird die Decklage (DL) geschweißt.



**Abbildung 27:**  
Pilgerschrittverfahren einer  
Stehnaht

### **Vorbereiten der Rundnähte**

Meint u.a. den oberen noch freistehenden Schuss durch Hebeln, mit Montageeisen oder anderen Hilfsmitteln an den unteren anzupassen und mittels Heftstellen an ihm zu befestigen. Die Länge und Häufigkeit der Hefter ist der Erfahrung des ausführenden Arbeiters überlassen, sollte aber immer  $\geq 50$  mm sein. Für eine bessere Vermittlung der Bleche wird jeweils eine halbe Runde im / gegen den Uhrzeigersinn geheftet. Dies ermöglicht eine bessere Anpassung bei möglichem Versatz bzw. schafft so einen größeren Toleranzbereich.

Sind alle Stehnähte verschweißt und die Rundnaht abgeheftet, kann mit dem Schweißen der Rundnaht begonnen werden. Dazu sind alle Schweißerkörbe auszuhängen, das UP-Gerät auf die Innenseite des Tankmantels einzuhängen und an das Schlauchpaket für Druckluft, Strom und technische Gase anzuschließen.

Um eine fehlerfreie Naht zu erhalten, wird vor Schweißbeginn eine Runde mit dem UP-Gerät gefahren, um angesetzten Rost und evtl. Farbspritzer von der Konservierung zu entfernen. Ebenfalls muss die zu schweißende Stelle frei von Schwitzwasser sein. Für die Gewährleistung des letzteren Punktes ist ca. 300 mm vor dem Pulverförderband ein Gasbrenner angeordnet, welcher während des Schweißvorganges in Betrieb ist.

### **Schweißen der Rundnähte**

Bei der Wurzelschweißung der Rundnaht ist von der Gegenseite Pulver zu stopfen. Das verhindert Fehler innerhalb der Wurzel und ermöglicht gleichzeitig eine Kontrolle der eingestellten Schweißparameter. Über vereinbarte Klopfzeichen erfolgt eine Kommunikation mit dem Bediener des UP-Gerätes, so kann dieser die Parameter während des laufenden Prozesses anpassen.

Nach der Wurzellage wird mit den Füll- und Decklagen begonnen. Eine Verwendung von mehreren Rundnahtgeräten gleichzeitig ist nicht ausgeschlossen. Voraussetzung dafür ist lediglich eine einheitliche Schweißrichtung. Beide Geräte können um  $180^\circ$  versetzt im Tank angeordnet werden und in derselben Schweißlage arbeiten oder nacheinander angeordnet in unterschiedlichen Lagen. Nach Fertigstellung der Innenseite ist das UP-Gerät umzuhängen und eine Kapplage von der Gegenseite zu schweißen.

## **Details**

Nahtvorbereitung der Steh-sowie Rundnähte ist eine V-Naht. Bei den vertikalen Nähten beträgt der Flankenwinkel ca. 25° beidseitig, was einen Gesamtöffnungswinkel von 50° ergibt, dies ist jedoch von der verwendeten Blechstärke abhängig. Bei den horizontalen Nähten hingegen ist die Naht zu 45° geöffnet, wobei eine Teilung von 30° zu 15° erfolgt. Letztere ermöglicht eine bessere Zugänglichkeit, womit die Wahrscheinlichkeit von Bindefehlern reduziert wird.

Alle Nahtvorbereitungen sowie Schweißung der Mantelbleche sollten von der Tankinnenseite erfolgen. Diese Maßnahme beugt möglichem Nahteinfall, wie er bei einer Schweißung von der Außenseite entstehen kann, vor, denn die Bleche stehen aufgrund Ihrer Walzung bereits unter Spannung. Wird an dieser Stelle von außen geschweißt, addieren sich die Spannung der Verformung und die der Schrumpfkkräfte, was dazu führt, dass die Naht nach innen fällt. Dieser Bereich wird zusätzlich durch Radiusbleche stabilisiert. Dennoch können die auftretenden Kräfte groß genug sein um eine der Schweißnähte, mit denen das Radiusblech am Tankmantel befestigt ist, zu zerreißen, was zur Folge hätte, dass die Naht nach innen einfällt.

Anders bei der Schweißung von der Tankinnenseite. Hier wirken die eingewalzte Spannung und die Schrumpfschpannung zueinander entgegengesetzt, was zur Folge hat, dass kein Nahteinfall entsteht bzw. dieser, falls vorhanden, nur sehr gering ausfällt.

Bei der Anwendung des UP-Rundnahtgerätes ist zu beachten, dass das Pulverförderband richtig an der Tankwand anliegt. Um dies zu gewährleisten, sind die oberen Enden der Stehnähte ca. 100 – 150 mm plan zu schleifen. Ohne diese Maßnahme würde das Pulverförderband an den geschweißten Stößen nicht richtig an der Tankwand anliegen. Das benötigte Pulver könnte herunterfallen, was Fehlstellen in der Naht zur Folge hätte. Weiterhin muss dafür gesorgt werden, dass ein gleichmäßiger horizontaler Schweißspalt vorhanden ist. Falls durch Verzug im Mantel oder durch eine schlechte Fertigung der Mantelbleche eine zu große Abweichung entsteht, muss diese vor Beginn der UP-Rundnahtschweißung mittels einer Wurzelschweißung mit Lichtbogenhandschweißen verschlossen werden. Diese Maßnahme verhindert ein Durchfallen des UP-Pulvers und somit entstehende Fehlstellen.

Reparaturschweißungen erfolgen üblicherweise mit Lichtbogenhandschweißen. Verwendet wird dabei eine basische Elektrode, wie sie auch bei der Wurzellage des Bodens zu finden ist. Schlägt eine Reparatur von einer Seite fehl bzw. schmilzt der Schweißer das Material aufgrund einer zu geringen Restwandstärke durch, kann eine Elektrode, des Typs E 42 0 RR 1 2 verwendet werden, um die Wurzellage zu schweißen.

## 6.4 Schweißen der Dachbleche

Das Schweißen der Dachbleche erfolgt auf ähnliche Weise wie das der Bodenbleche. Unterschied zum Boden ist allerdings, dass aufgrund der Dachneigung / -wölbung nicht mit einem UP-Traktor geschweißt werden kann. Verwendet wird stattdessen das Lichtbogenhandschweißen mit den beim Boden bereits genannten Zusatzwerkstoffen oder das MAG-Schweißen mit Fülldraht.

### Details

Bei einer Stumpfnahhtverbindung der Dachbleche müssen die Kanten entsprechend dem Schweißverfahren vorbereitet werden.

Die Dach-Mantel-Verbindung ist auf unterschiedliche Arten möglich, welche bereits bei den Bauteilvarianten zu finden sind. Zu berücksichtigen ist dabei, dass eine Kantenabschrägung vorgenommen werden muss oder mit überlappenden Nähten gearbeitet wird.

## 6.5 Schweißen der Mannlöcher

Mannlöcher werden mit der von den Mantelblechen bekannten MAG-Verfahren geschweißt. Aufgrund der Größe des jeweiligen Kragens wird die Naht in vier Segmente unterteilt, welche im Pilgerschritt zu schweißen sind. Dabei wird in der PF-Position geschweißt. Ein detaillierter Schweißfolgeplan befindet sich im Anhang.



## 6.6 Neuerungen der Gerätetechnik

Eine mögliche Änderung für den Tankbau ist die Benutzung von sich selbständig fortbewegenden Pendelautomaten. Sie bieten eine Vielzahl von Schweißpositionen, können die Produktivität steigern und sind universell einsetzbar. Die Technik hinter diesen Systemen besteht schon über Jahrzehnte hinweg, wird jedoch im Behälterbau selten oder meist nur in Verbindung mit Schneidprozessen eingesetzt. Aufgrund der Weiterentwicklung der Gerätetechnik sollte jedoch eine mögliche Anwendbarkeit unter wirtschaftlichen Aspekten geprüft werden. Zwei mögliche Einsatzbereiche wären die Steh- und Rundnähte der Tanks.

Eine detaillierte Erläuterung des Pendelschweißautomaten soll am Bsp. des Railtrac der Firma ESAB erfolgen.



Abbildung 28: Railtrac der Firma ESAB bei einer Vorführung

### Legende

- 1 Magnethalterung der Führungsschiene
- 2 Führungsschiene
- 3 Trägerplatte mit Antriebseinheit, Pendleinrichtung und Brennerhalterung
- 4 Bedientablett mit Speicher
- 5 Fernbedienung

Für den Aufbau des Systems ist die Führungsschiene, auf der die Trägereinheit entlang läuft, von großer Bedeutung. Sie kann aufgrund ihrer Flexibilität an Rohre mit entsprechendem Durchmesser angepasst, nach Belieben verlängert oder auch durch Abschneiden gekürzt werden. Ihre Befestigung kann bei magnetisierbaren Werkstoffen über Magnete erfolgen oder auch durch Saugnäpfe bei unmagnetischem Material.

Auf der Trägerplatte befinden sich die Antriebs- und Pendeleinheit. An letzterer befindet sich abhängig von der Ausführung ein Verstellsystem, welches den MAG-Schweißbrenner aufnimmt. Diese Verstelleinrichtung ermöglicht eine einfache Anpassung an die Gegebenheiten und erlaubt auch Änderungen der Brennerstellung während des Schweißprozesses. Diese sind jedoch eher unüblich, da notwendige Anpassungen mit Hilfe der Fernbedienung vorgenommen werden können. Dank einer Klappvorrichtung an der Pendeleinheit lassen sich auch Kehlnahtschweißungen ausführen. Gesteuert wird der gesamte Schweißablauf bzw. die Bewegung des Pendelautomaten über eine Fernbedienung. In der Steuereinheit werden vorher Grundparameter wie das Schweißmuster, Haltezeit, Pendelbreite oder auch Geschwindigkeit eingestellt. Ebenfalls ist es möglich, Parameter im Speicher abzulegen und diese so schnell wiederaufzurufen.

Die großen Vorteile des Systems sind eine hohe Reproduzierbarkeit der Nahtqualität und die Benötigung von weniger Pausen gegenüber dem konventionellen Schweißvorgang. Die häufigeren Pausenzeiten resultieren aus der Zwangshaltung, in der der Schweißer arbeiten muss. Entfällt diese, kann dies eine Steigerung der Produktivität mit sich bringen. Ebenfalls ohne großen Aufwand ist eine Verwendung als Schneideinrichtung möglich. Anstatt des MAG-Brenners wird nur ein Schneidbrenner genutzt.

Eine Einschränkung, so das eine Anwendung nur im Tankbau möglich wäre, wie bei UP-Rundnahtgeräten, existiert nicht. Die benutzte Schweißgerätetechnik ist nicht an den Pendelautomaten gebunden. Es können somit die handelsüblichen oder bereits vorhandenen Schweißgeräte benutzt werden. Der Einsatz auf anderen Baustellen ist somit problemlos möglich. Im Vergleich zur UP-Rundnahtanwendung ist diese Gerätschaft kleiner sowie leichter. Weiterhin bietet sie eine bessere Kontrollmöglichkeit, da der Schweißprozess ganzzeitlich sichtbar ist und nicht verdeckt wird. Jedoch ist eine ähnlich hohe Abschmelzleistung unter Baustellenbedingungen nicht annähernd möglich.

Nachteilig wirken sich die langen Rüstzeiten aus. Es müsste durch Kalkulation und / oder Proben ermittelt werden, ab welchen Blechdicken sowie Nahtlängen sich die Verwendung rentiert. Nach Aussage des jeweiligen Firmenvertreters sollte sich der Einsatz ab ca. 8 - 10 mm Blechstärke und einer Nahtlänge ab ca. einem Meter lohnen. Toleranzen in Bauteilen oder Unebenheiten können eine erneute Einstellung des MAG Brenners oder der Schweißparameter bedeuten. Ein Schweißer hingegen gleicht dies dank seiner Erfahrung und

Handfertigkeit selbständig aus. Eine Einsparung von qualifiziertem Fachpersonal wäre demzufolge nicht möglich. Der Arbeiter muss Schweißer und Bediener gleichzeitig sein. Nur in diesem Fall verfügt er über genügend Kenntnisse, die für einen fehlerfreien Schweißvorgang notwendig sind. Für den sicheren Umgang mit dem Gerät benötigt er ein vorheriges Training.

Eine andere mögliche Pendeleinrichtung wäre der BUG-GY-VERT der Firma Bug-O Systems.<sup>[53]</sup> Diese Gerätschaft ist ebenfalls ein Pendelautomat, welcher der Führung eines MAG-Brenners dient. Jedoch benötigt er keine Führungsschiene, da seine Räder starke, zuschaltbare Magnete sind. Einmal eingerichtet soll der Buggy gerade entlang seiner Ausrichtung fahren und schweißen.

Vorteilhaft ist sein Einsatz sowohl mit Akku als auch an Netzstrom. Weitere Vorteile sind die Kompaktheit des Gerätes und seine Einsatzmöglichkeit selbst bei Überkopfschweißungen.



Abbildung 29: BUG-GY-VERT<sup>[53]</sup>

Nachteilig ist jedoch, dass er nur bei magnetischen Werkstoffen, die eine unbehandelte Oberfläche aufweisen, eingesetzt werden kann. Weiterhin ist vor Beginn die Vertikal-Tragfähigkeit des Materials zu testen, da sie von der verwendeten Materialstärke abhängig ist. Einstellmöglichkeiten befinden sich nur direkt am Gerät. Somit ist eine 100%ige Vorbereitung sowie Einstellung des Gerätes die Grundvoraussetzung für eine fehlerfreie Naht. Weiterhin ist der Geradeauslauf ohne eine Führung nicht gewährleistet, was einen erheblichen Kontrollaufwand für den Bediener darstellt. Er muss gleichzeitig den Schweißprozess sowie die Laufrichtung kontrollieren. Diesbezüglich bietet sich gleich die Verwendung einer laufschienebasierenden Pendeleinrichtung an.

---

<sup>53</sup> bug-gy-vert 3000 PDF

## 7 Zerstörungsfreie Prüfungen

Zerstörungsfreie Prüfungen (ZfP) sind fester Bestandteil des Behälterbaus. Sie dienen der Qualitätssicherung von Schweißarbeiten. Nur unter Zuhilfenahme dieser Verfahren sind Fehlstellen, welche u.a. für Leckagen verantwortlich sein können, auffindbar. Da es kein Verfahren gibt, welches gleichzeitig alle Fehler aufdeckt, findet im Tankbau eine Kombination von verschiedenen Prüfverfahren statt. Diese Kombination wird unter Punkt 19.4.4 Art und Umfang von Schweißnahtprüfungen in Tabelle 30 / 31 (Materialabhängig) der DIN EN 14015 aufgeschlüsselt. Anhand dieser Auflistung wird ein Prüfplan erstellt, nach dem das ZfP-Personal arbeitet.

Das wichtigste Verfahren stellt dabei aufgrund seiner Nähe zur Fertigung die Sichtprüfung dar. Sie ermöglicht eine frühzeitige Erkennung von äußeren Unregelmäßigkeiten und gewährt ein schnelles Eingreifen bzw. eine zügige Fehlerbeseitigung.

Kleine, äußere Unregelmäßigkeiten können mittels Farbeindring- oder Magnetpulverprüfung verdeutlicht werden, wobei jedoch das Magnetpulverprüfverfahren im Stahl- und Behälterbau aufgrund seiner vergleichsweise schnellen sowie unkomplizierten Ausführbarkeit bevorzugt wird.

Die Dichtigkeit geschweißter Behälter lässt sich mit dem Blasenprüfverfahren untersuchen. In Abhängigkeit von Einsatzbereich werden die Unterdruckprüfung mit Saugglocke sowie die Nekalprüfung mit Innendruck ausgeführt.

Innenliegende Fehlstellen lassen sich gut mit einer Kombination aus Durchstrahlungsprüfung und Ultraschallprüfung feststellen. Jedoch sind die Kosten für eine Kombination der beiden Verfahren meist zu hoch. So ist unter Berücksichtigung der zu erwarteten Fehler, Materialstärke, Bauteil- sowie der Schweißnahtgeometrie eine Entscheidung für das jeweils angewandte Prüfverfahren zu treffen.

"Für die zerstörungsfreien Prüfungen im Behälterbau sind Hersteller oder Errichter verantwortlich, weiterhin muss das mit der Prüfung beauftragte ZfP-Personal Teil einer eigenständigen Prüfstelle oder -organisation sein, die nicht zur Fertigungsabteilung des Herstellers oder Errichters gehört." <sup>[54]</sup> Sind diese u.a. Randbedingungen erfüllt, dürfen die Prüfarbeiten anhand des erarbeiteten Prüfplans erfolgen.

---

<sup>54</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 19.1 Allgemeines, S.94.

## 7.1 Qualifikation Prüfpersonal DIN EN 473

"Grundvoraussetzung für eine zerstörungsfreie Werkstoffprüfung ist, dass das ZfP-Personal nach DIN EN 473 zertifiziert ist und dass seine Arbeitsmethoden konform der jeweiligen Prüfnorm sind. Ohne diese Qualifikation ist eine Durchführung der nach DIN EN 14015, für den Tankbau geforderten Prüfungen nicht erlaubt bzw. sind ungültig. Ebenfalls muss die Gültigkeit der Qualifizierung des Personals nachgewiesen sein." <sup>[55]</sup> Für die Erstellung der Prüfanweisung, Abgrenzung der Anwendungsbereiche des Prüfverfahrens, Überwachung, Auslegung und Bewertung der Prüfarbeiten auf der Baustelle, ist mindestens eine Person mit Stufe-2-Qualifikation in jeweiligen Verfahren erforderlich.

## 7.2 Sichtprüfung DIN EN ISO 17637

Die allgemeinen Grundlagen der Sichtprüfung (VT) sind in der DIN EN 13018 zu finden. Im Behälterbau bestehen die Verbindungen überwiegend aus Schmelzschweißverbindungen. Für diese soll laut DIN EN 14015 die EN 970 angewendet werden, welche allerdings im Jahr 2011 von der DIN EN ISO 17637 ersetzt wurde. In ihr befinden sich Angaben über:

- a) Prüfbedingungen und -geräte,
- b) Sichtprüfung:
  - der Schweißnahtvorbereitung,
  - während des Schweißens,
  - der fertiggestellten Schweißnaht,
  - ausgebesserter Schweißnähte und
- c) Prüfberichte.

Generell werden im Tankbau alle Bauteile, Schweißkanten und Vorbereitungen für die Montage nach DIN EN ISO 17637 sichtgeprüft. "Diese Sichtprüfung hat den Zweck, Fehler an den Blechkanten festzustellen und die Güte der Verbindung sicherzustellen. Sie muss eine Kontrolle der Geometrie der Schweißvorbereitung (Abstände zwischen Blechen, Kantenabschrägung, Ausrichtung oder örtliche Formabweichungen usw.) und der Sauberkeit der zu verschweißenden Teile beinhalten. Die zu prüfenden Bereiche umfassen Boden, Boden-Mantel-Verbindung, Mantelbleche, Dach-Mantel-Verbindung, Dachhaut, Stützen, Dachrahmen, Versteifungsringe (Windverband) und Versteifungselemente." <sup>[56]</sup>

<sup>55</sup> Vgl. DIN EN 14015:2004, 19.1 Allgemeines, 19.2 Qualifizierung von ZfP-Personal, S.94.

<sup>56</sup> DIN EN 14015:2004, 19.4.2 Prüfungen der Schweißkanten und der Vorbereitungen für die Montage S.95.

### 7.3 Dichtheitsprüfung - Blasenprüfverfahren DIN EN 1593

Die Dichtheitsprüfung wird beim Tankbau an verschiedenen Stellen und in unterschiedlichen Varianten eingesetzt. Da ein Eintauchverfahren nicht durchführbar ist, werden Methoden verwendet, bei denen eine schaumbildende Flüssigkeit aufgetragen wird. Dazu gehören die Nekalprüfung mit Innendruck (Direkte Druckbeaufschlagung des Objektes) und die Unterdruckprüfung mit Saugglocke (Anwendung von Vakuum für drucklose (offene) Objekte). In Klammern ist jeweils die Bezeichnung nach Norm zu lesen.

#### Unterdruckprüfung mit Saugglocke

Die Unterdruckprüfung mit Saugglocke wird nur bei den Schweißnähten zwischen den Bodenblechen angewandt. Der schemenhafte Aufbau der Saugglocke ist in der Abbildung 30<sup>[57]</sup> zu sehen. Falls sich innerhalb der Schweißnaht Fehlstellen befinden, tritt an diesen Luft aus und es entsteht eine wachsende Blase, welche als Leckage zu deuten ist.

In Ausnahmefälle und in Absprache mit der jeweiligen Prüforganisation (TÜV o.a.) besteht die Möglichkeit die Dachhaut mittels Saugglocke auf Dichtigkeit zu prüfen. In Bereichen, wo Arbeiten mit der Saugglocke nicht durchführbar sind, wie bei Dach-Mantel-Verbindung oder Stutzen, wird Ersatzweise mit der Magnetpulver- oder der Eindringprüfung geprüft. Dies geschieht aber nur in Einzelfällen.

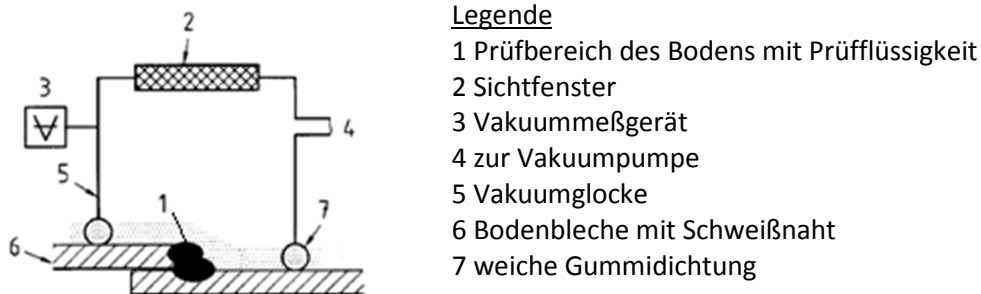


Abbildung 30: Skizze einer Saugglocke<sup>[57]</sup>

<sup>57</sup> Vgl. DIN EN 1593:1999, 9.2.2 Anwendung von Vakuum für drucklose (offene) Objekte, Bild 2, S.4.

### **Nekalprüfung mit Innendruck**

Eine Nekalprüfung mit Innendruck wird bei Verstärkungsblechen, Schweißnähten an Festdächern, Dach-Mantel-Verbindungen und Mantel-Boden-Verbindungen mit beidseitig geschweißten Kehlnähten ausgeführt. Ihr Funktionsprinzip ist ähnlich dem der Saugglocke, nur das hier anstatt eines Unterdrucks, ein Überdruck innerhalb des Tanks durch eine Wasserfüllung oder Pumpen erzeugt wird.

"Auf die zu untersuchenden Bereiche wird auf der Außenseite (Seite des geringeren Druckes) Seifenwasser oder ein dafür geeignetes Tensid durch Pinseln, Sprühen oder andere Verfahren aufgetragen. Danach muss eine genügend lange Prüfzeit abgewartet werden, um auch eine langsame Schaumproduktion von kleineren Lecks wahrzunehmen. Von größeren Lecks kann die Prüfflüssigkeit weggeblasen werden und es tritt keine Schaumbildung auf. Ein wachsender Schaumpilz, der von einer bestimmten Stelle ausgeht, muss als Leckage interpretiert werden."

[58]

## **7.4 Eindringprüfung nach DIN EN 571-1**

"Sinn der Eindringprüfung (PT) ist es, Fehler wie z.B. Risse, Überlappungen, Falten, Poren und Bindefehler, die zur Prüfoberfläche hin offen sind, zu finden." [59] Der Vorteil des Verfahrens ist, dass es auch bei Materialien einsetzbar ist, die nicht magnetisierbar sind. Nachteilig ist die lange Durchführungszeit und ständige Anwesenheitspflicht des Prüfpersonals während der Prüfung.

Beim Tankbau kann bei allen Stellen, ausgenommen Stutzen der Reinigungsöffnung bündig am Bodenblech, zwischen Farbeindring- und Magnetpulverprüfung gewählt werden.

Aufgrund der schnelleren Durchführbarkeit bietet es sich deshalb an, die Magnetpulverprüfung auszuwählen. Daher wird hier nicht weiter auf die Eindringprüfung eingegangen.

---

<sup>58</sup> Vgl. DIN EN 1593:1999, 9.2.1 Direkte Druckbeaufschlagung des Objektes, S.4.

<sup>59</sup> Vgl. DIN EN 571-1:1997, 1. Anwendungsbereich, S.2.

## 7.5 Magnetpulverprüfung nach DIN EN ISO 17638

Die Magnetpulverprüfung (MT) soll ähnlich der PT-Prüfung zur Oberfläche hin geöffnete Fehler finden. Weiterhin können auch Fehlstellen dicht unter, max. 0,3 mm, der Oberfläche gefunden werden. Voraussetzung für die Anwendung des Prüfverfahrens ist ein magnetisierbarer Werkstoff. "Die Oberflächenbedingungen des Prüfstücks müssen gewährleisten, dass die Empfindlichkeit des Prüfverfahrens nicht beeinflusst wird, sie müssen frei von Zunder, Öl, Schmierstoff, Schweißspritzern, Bearbeitungsriefen, Schmutz, dicker und loser Farbe und anderen Fremdstoffen sein." <sup>[60]</sup> Vor der eigentlichen Prüfung kann eine weiße Untergrundfarbe aufgesprüht werden, diese bewirkt einen besseren Kontrast. Es folgt üblicherweise die Magnetisierung mittel Joch, alternativ ist diese bei kleineren Bauteilen durch stromdurchflossene Leiter oder mittels Spulenmagnetisierung möglich. "Nach der Vorbereitung des Prüfgegenstandes ist das Prüfmittel durch Sprühen, Spülen oder Pudern unmittelbar vor und während der Magnetisierung aufzubringen. Dies bedeutet, dass die Anzeigenbildung vor Abschaltung der Magnetisierung abgeschlossen sein muss." <sup>[61]</sup> Das Joch wird in einem Winkel von ca. 45° zur Schweißnaht aufgesetzt. So ist es möglich, Fehler in beiden Richtungen festzustellen. Bei einer ungenügenden Anzeige wird das Joch gedreht, so dass die Fehlstelle besser sichtbar wird. Die sehr schnelle Einsetzbarkeit, die kurze Dauer und das unverzügliche Ergebnis zeigen sich als Vorzüge dieses Prüfverfahrens. Nachteilig in Bezug auf den Behälterbau ist die benötigte Stromquelle für das Joch. Dort wird meist mit Verlängerungskabeln gearbeitet, was eine zusätzliche Gefahrenquelle darstellen kann.

## 7.6 Ultraschallprüfung nach DIN EN ISO 17640

Die typischen Aufgaben von Ultraschallprüfungen sind vor allem die Wanddickenmessung und die Dopplungsprüfung. Außerdem sollen mit ihr Fehlstellen innerhalb einer Schweißnaht gefunden werden. Dabei eignet sich die Ultraschallprüfung besonders zur Detektion von flächigen Ungängen wie Bindefehler oder Rissen. Poren sind aufgrund ihrer geringen Größe nur schlecht auffindbar. Eine generelle Aussage über die genaue Fehlergröße sowie ihrer Art ist nicht möglich, da die Ultraschallprüfung kein Bild liefert, sondern eine interpretationspflichtige Bildschirmanzeige, ausgehend von der heutigen Standardanwendung. Jedoch ist Tiefe sowie Ort genau bestimmbar, was vorteilhaft gegenüber der Röntgenprüfung ist. Im Behälterbau sind größtenteils dünnwandige Bleche zu verbauen. Dieser dünnwandige Bereich (< 8 mm) wird nicht von den europäischen Regelwerken abgedeckt, womit sich für den Tankbau die Forderung ergibt, dass alle Blechstärken bis 13 mm zu durchstrahlen sind. Die Prüfoberfläche muss für die Prüfung vorbereitet werden. Sie muss glatt und frei von Verschmutzungen sowie Schweißspritzern sein.

<sup>60</sup> Vgl. DIN EN ISO 17638:2009, 5.4 Oberflächenbedingungen und Oberflächenvorbereitung, S.5.

<sup>61</sup> Vgl. DIN EN ISO 17638:2009, 5.9 Aufbringen des Prüfmittels, S.13



## 7.7 Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen nach DIN EN 1435

Die Durchstrahlungsprüfung ist in den meisten Fällen anzuwenden, wenn ein bildgebendes Prüfverfahren gefordert wird. Alternative dazu wäre die Ultraschallprüftechnik mit Bilddarstellung. Letztere ist bisher jedoch noch nicht sehr verbreitet.

Der große Vorteil eines bildgebenden Verfahrens, speziell der Durchstrahlungsprüfung, ist die optimale Dokumentierbarkeit aller Prüfbefunde. Ob eine sachgerechte Prüfungsdurchführung erfolgte, kann anhand des Röntgenfilmes und dem zugehörigen Prüfprotokolls nachvollzogen werden. Generell findet eine Auswertung der Prüfergebnisse getrennt vom Prüfvorgang statt. Die genannten Punkte sind besonders für mögliche Diskussionen von Vorteil. Anhand der Filme können Rückschlüsse zur Fehlerentstehung gezogen werden. So ist es möglich, herauszufinden, ob Witterungsbedingungen wie Wind und / oder Feuchtigkeit, Schweißer- / Bedienerfehlerverhalten oder grundlegende technologische Probleme wie die Auswahl eines falschen Zusatzwerkstoffes oder die Einstellung der Schweißparameter, Ursache für die Fehlstellen innerhalb der Schweißnaht sind. Weiterhin ist die genaue Position der Fehlstelle auszumachen. Mit zunehmender Wandstärke nimmt die Auffindwahrscheinlichkeit allerdings ab.

Ein Nachteil der Durchstrahlungsprüfung ist u.a. die bei der Ausführung der Prüfung freiwerdende, für Mensch und Tier schädliche Strahlung. Infolgedessen gelten strenge Sicherheitsvorschriften, welchen unbedingt Folge zu leisten ist. Ebenfalls sind Bindefehler oder Risse nur schwer auszumachen, wenn diese nicht gerade in Durchstrahlungsrichtung orientiert sind. Weiterhin besteht eine Abhängigkeit des Filmkontrastes zur verwendeten Strahlenquelle.

Die Bildgüte ist anhand eines Bildgüteprüfkörpers, welcher DIN EN 462-1 oder 462-2 entspricht, nachzuweisen. Die Auswahl der Strahlenquelle hängt ab von der Dicke des Werkstoffes und der Geometrie des zu prüfenden Bereiches. Mit dem Auftraggeber ist die Art der Strahlenquelle abzustimmen und muss in den getroffenen Vereinbarungen berücksichtigt werden.

Im Zuge der Prüfung wird eine Unterteilung in die Prüfklassen A und B gemacht. Klasse B sollte Anwendung finden, falls Klasse A zu unempfindlich sein könnte. Weiterhin erfolgt in der DIN EN 14015 unter Punkt 19.9 Durchstrahlungsprüfung eine Unterteilung für unlegierte Stähle anhand der Streckgrenze.

Streckgrenze  $< 355 \text{ N/mm}^2$  gilt Prüfklasse A.

Streckgrenze  $\geq 355 \text{ N/mm}^2$  gilt Prüfklasse B.

Für den Behälterbau schreibt die DIN EN 14015 die Benutzung von Filmen der Länge von mindestens 400 mm vor. Grundsätzlich ist die Verwendung von Schmalfilmen erlaubt. Bedingung für ihre Benutzung ist, dass auf beiden Seiten der Schweißnaht ein 10 mm breiter Streifen des Grundwerkstoffes zu sehen ist. Die Filmkennung darf sich dabei nicht innerhalb dieses Bereiches befinden. Des Weiteren ist in Tabelle 30 vorgeschrieben welche Prüfungsart bei welcher Streckgrenze sowie Mantelblechstärke anzuwenden ist. Zusätzlich ist abzulesen, in welcher prozentualen Häufigkeit die jeweilige Filmposition abzulichten ist.

Die Filmkennung setzt sich aus der Tankkennnummer und der Position der Prüfstelle am Tank zusammen. Die Schweißer- / Bedienernummer, Filmkennungen sowie Lage müssen in einer zugehörigen Zeichnung protokolliert werden.

Im Falle eines nicht akzeptierten Filmes muss eine Ausbesserung und erneute Prüfung stattfinden. Ebenfalls müssen im Zuge der Ausbesserung weitere zusätzliche Prüfungen erfolgen. Sollte dieser zusätzliche Bereich ebenfalls fehlerhaft sein, muss die komplette Tagesarbeit des betroffenen Schweißers bzw. der Maschine zu 100% geprüft werden. Mögliche Anordnungen und zusätzliche Prüfbereiche sind in Abbildung 31 zu finden.

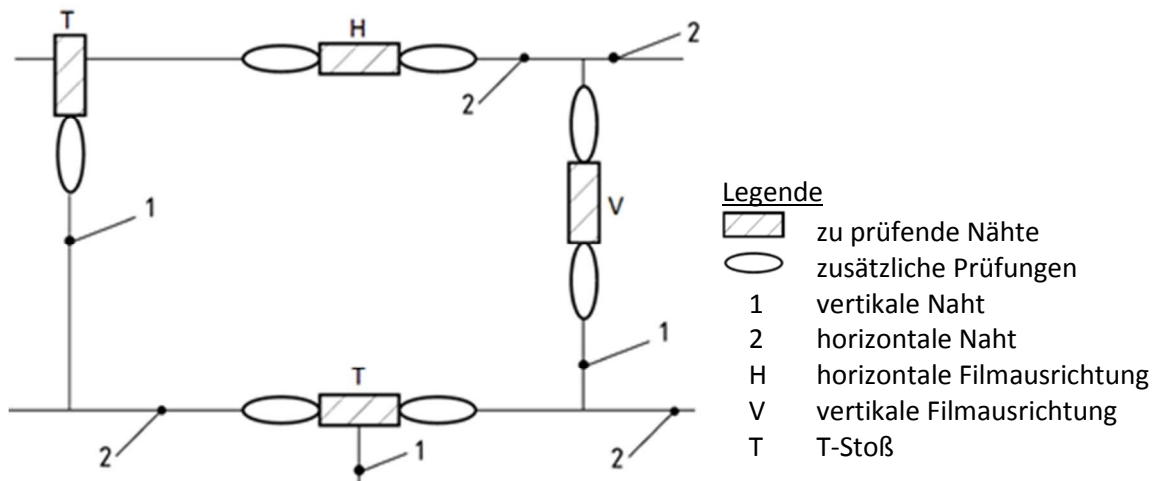


Abbildung 31: Anordnung der Prüfbereiche der Durchstrahlungsprüfung <sup>[62]</sup>

<sup>62</sup> DIN EN 14015:2004, Bild 19 - Zusätzliche Prüfungen an fehlerhaften Schweißnähten, S.101.

## **7.8 Prüfung der Abmessungen nach Punkt 19.12 der DIN EN14015**

Im Zuge der Abnahme muss vom Errichter oder dem Abnahmebeauftragten zusätzlich zu den bereits durchgeführten ZfP-Prüfungen eine Kontrolle der nachstehenden Parameter erfolgen.

Zu prüfen sind:

- allgemeine Ausrichtung des Tanks;
- wesentliche Abmessungen des Tanks;
- Dachneigung;
- Lage der Stützen (Ausrichtung, Neigung usw.);
- Dichtflächen der Flansche;
- senkrechte Lage des Füllstandrohres, sofern vorhanden;
- Lage und Konformität von Anbauteilen zur Aufnahme von Sicherheitseinrichtungen;
- Rundung der Wand und das Nichtvorhandensein von Flachstellen. <sup>[63]</sup>

## **7.9 Flüssigkeitsprüfung - Wasserfüllung nach Punkt 19.13 der DIN EN 14015**

Alle erbauten Tanks müssen einer so genannten Wasserfüllung unterzogen werden. Sinn dieser ist es, festzustellen, wie sich die Gründung sowie die Tankstabilität unter Belastung verhalten. Weiterhin stellt diese gleichzeitig eine Dichtheitsprüfung dar. Zu einer bedeutenden Überschreitung der Auslegungsvorlagen, wie Absinken der Gründung oder des Tankmantels, darf es während des gesamten Prüfungszeitraumes nicht kommen.

Vor Prüfungsbeginn sollten alle Schweißarbeiten sowie der Anbau von Teilen für Boden und Mantel abgeschlossen sein. Üblicherweise ist die Prüfung von der Farbgebung durchzuführen.

### **Bedingungen für die Durchführung nach Punkt 19.13.4 der DIN EN 14015**

Vor Prüfbeginn muss die Reinigung des Tanks erfolgen. Diese beinhaltet das Entfernen von Schlackeresten, Spritzern sowie sämtlichem auf dem Boden angesammelten Unrat. Alle nicht dauerhaft verbleibenden Bauteile oder Hilfsmittel sind zu entfernen.

Zum Schutz des Tanks vor Schäden während der unterschiedlichen Druckproben ist auf einem Dachstützen eine Sicherheitsarmatur einzurichten. Jene muss gewährleisten, dass nur die maximal zulässigen Drücke erreicht werden. Weiterhin ist eine Wassersäulenanzeige auf dem Dach anzubringen. Bei Gefährdung durch Frost sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen.

---

<sup>63</sup> DIN EN 14015:2004, 19.12 Prüfung der Abmessungen, S.107.

### **Prüfungen während der Befüllung**

Mit der Wasserfüllung sind wie oben bereits angedeutet mehrere Prüfungen verbunden. Dazu zählen die Setzungsmessung am Tankumfang, Kontrolle des Bodendurchhangs, Prüfung des Daches bei Überdruck sowie die Prüfung der Tankstabilität bei Unterdruck.

### **Füllen nach Punkt 19.13.6 der DIN EN 14015**

"Die Geschwindigkeit des Füllvorgangs ist zu vereinbaren; dabei sind die Tankabmessungen, die Bodenverhältnisse, die geotechnische Vermessung und die Verfügbarkeit des Wassers zu berücksichtigen."

Nach Erreichen des Maximalfüllstandes ist die Wasserbelastung für mindestens 24 Stunden aufrecht zu erhalten. In dieser Zeit sind alle Schweißnähte einer Sichtprüfung zu unterziehen. Ebenfalls soll währenddessen die Form des Tanks kontrolliert werden. Bei Fehlstellen ist der Wasserspiegel bis auf ca. 300 mm unterhalb der Fehlstelle abzusenken. Erst dann darf eine Reparatur erfolgen. Nach Beendigung der Reparatur ist der Maximalfüllstand wieder herzustellen.

Unter voller Prüfbelastung müssen alle 12 Stunden Messungen des Füllstandes erfolgen. Sofern vorhanden sind die Verankerungen nachzustellen.

### **Prüfung des Dachs (Überdruck)**

Die Prüfung des Dachs bei Unterdruck ist die bereits beschriebene Nekalprüfung mit Innendruck. Bei dieser Prüfung sind alle Schweißnähte zu prüfen, die oberhalb des Wasserspiegels liegen.

### **Prüfung der Tankstabilität bei Unterdruck nach Punkt 19.13.8 der DIN EN 14015**

"Nach Absenken des Flüssigkeitsstands auf eine Höhe von einem Meter über der Oberkante des Ablaufstutzens ist der Tank auf Stabilität bei Unterdruck zu prüfen."

Mit Ausnahme des Unterdrucksicherheitsventils müssen alle Öffnungen verschlossen werden. Anschließend ist der Wasserstand soweit abzusenken, bis der Auslegungsunterdruck erreicht ist."

**Prüfung bei leerem Tank nach Punkt 19.14 der DIN EN 14015**

Nach Abschluss aller Prüfungen ist der Tank zu entleeren, zu reinigen und gegebenenfalls zu trocknen. Es findet eine erneute Höhenmessung des Bodens statt. Bei der die Werte mit denen aus der Kontrolle des Bodendurchhangs zu vergleichen sind.

Ist unter dem Tankboden ein Ablaufrohr vorhanden, muss die Schweißnahtverbindung zwischen Ablaufrohr und Bodenblech geprüft werden.

## 8 Resümee

Bei der Bearbeitung des Themas zeigte sich, dass innerhalb der DIN 14015:2004 Grundlagen für die Planung, Regeln der Fertigung, Prüfung und Ausführung sowie Vorschläge für mögliche Ausführungsvarianten niedergeschrieben sind. Jedoch besteht immer noch eine große Vielfalt an Möglichkeiten für die Ausführung. Dies hat zur Folge, dass ein Montagebetrieb immer ähnliche, aber dennoch neue Varianten eines Flachbodentankbauwerkes zu montieren hat, was stets neue Anforderungen an ihn stellt.

Die Entwicklung innerhalb des Behälterbaus geht stark in Richtung Materialeinsparung. Dies bedeutet häufig, dass es zu einer Reduzierung der Mantelblechdicke kommt. Aus ökonomischer Sicht ist dies lobenswert. Jedoch muss sich der ausführende Montagebetrieb an die neuen Gegebenheiten anpassen und auch sein Personal daraufhin schulen. Kommt zur Reduzierung als Beispiel noch eine unübliche Nahtvorbereitung von der Außenseite, hinzu kann es passieren, dass ein Einsatz der üblichen Gerätetechnik oder Verfahren nicht möglich ist oder nur unter erschwerten bzw. angepassten Bedingungen ermöglicht werden kann.

Für diese Arbeit bedeutet dies, dass der beschriebene Montageablauf zwar allgemeine Gültigkeit besitzt. Um jedoch als Montageanweisung eingesetzt zu werden, sind eventuelle Detailangaben einzubinden. Ebenso gilt dies für die Schweißanweisungen. Sie beinhalten detaillierte sowie allgemeine Aussagen, sind aber im Praxisgebrauch an die genauen Gegebenheiten anzupassen.

Die Bauweise der Flachbodentankbauwerke hat sich seit dem letzten Jahrhundert nicht wesentlich geändert. Einzig bei der Art ihrer Montage sowie bei der Gerätetechnik haben Veränderungen und Verbesserungen stattgefunden, weshalb in naher Zukunft auch nicht mit großartigen Neuerungen zu rechnen ist.

## Literaturverzeichnis

**arbeitsschutz-portal.de** [Online]. - 2011. 07 18. - [www.arbeitsschutz-portal.de](http://www.arbeitsschutz-portal.de).

**Auslegung und Herstellung standortgefertigter, oberirdischer, [DIN EN] // Auslegung und Herstellung standortgefertigter, oberirdischer, . - 2004.**

**bauprofessor.de** [Online]. - 14. 07 2011. -

<http://www.bauprofessor.de/Baustelleneinrichtungsplanung/52010ee7-064b-4aa3-a6bc-13c50edff9ab>.

**biogas-infoboard** [Online]. - 01. 09 2011. - <http://www.biogas-infoboard.de/pdf/Pressetext%20Biogasspeicher%20fuer%20Biogas%20Infoboard.pdf>.

**DIN 4119 Teil 1 // Oberirdische zylindrische Flachboden- Tankbauwerke aus metallischen Werkstoffen - Grundlagen, Ausführung, Prüfungen. - [s.l.] : Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 1979.**

**DIN EN 13018:2001 // Zerstörungsfreie Prüfung - Sichtprüfung - Allgemeine Grundlagen. - [s.l.] : Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 2001.**

**DIN EN 14015:2004 // Auslegung und Herstellung standortgefertigter, oberirdischer, stehender, zylindrischer, geschweißter Flachboden-Stahl tanks für die Lagerung von Flüssigkeiten bei Umgebungstemperatur und höheren Temperaturen. - [s.l.] : Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 2005.**

**DIN EN 1435:2002 // Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Durchstrahlungsprüfung von Schmelzschweißverbindungen. - [s.l.] : Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 2002.**

**DIN EN 1593:1999 // Zerstörungsfreie Prüfung - Dichtheitsprüfung - Blasenprüfverfahren. - [s.l.] : Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 1999.**

**DIN EN 473:2008 // Zerstörungsfreie Prüfung - Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung - Allgemeine Grundlagen. - [s.l.] : Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 2008.**

**DIN EN 571-1:1997 // Zerstörungsfreie Prüfung - Eindringprüfung - Teil 1: Allgemeine Grundlagen. - [s.l.] : Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 1997.**

**DIN EN ISO 17637:2011 // Zerstörungsfreie Prüfung von Schmelzschweißverbindungen - Sichtprüfung von Schmelzschweißverbindungen. - [s.l.] : Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 2011.**

**DIN EN ISO 17638:2009 // Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Magnetpulverprüfung. - [s.l.] : Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin, 2010.**

**DZL-Hebeltechnik** [Online]. - 25. 08 2011. - <http://www.dzl-hebetechnik.de/index.html>.

**ESAB - Fülldrahtelektroden, Marathon Pac, keramische Badsicherungen** [Online]. - 05. 10 2001. - <http://www.fuelldraht.de/12.html>.

**ESAB - Schweißen & Schneiden Deutschland - Österreich** [Online]. - 15. 09 2011. - <http://products.esab.com/Templates/T008.asp?id=26625>.

**Handbuch Stahlbaumontage** [Buch]. - [s.l.] : Stahlbau- Verlagsgesellschaft mbH Düsseldorf. - 2. Auflage 2000.

**Hebezone** [Online]. - 22. 07 2011. - <http://www.hebezone.de/frameset.php>.

**Ingenieurhausarbeit - Montagetechnologie für die Montage eines Tankes von 3000m<sup>3</sup> Inhalt** [Buch] / Verf. Brandt Sigurd / Mrosek, Werner. - Magdeburg : [s.n.], 1970.

**Lange Hebetchnik** [Online]. - 29. 07 2011. - <http://www.lange-hebetchnik.de/produkte/lastaufnahmemittel/greifklemmen.html>.

**Lehrgangsunterlagen Internationaler Schweißfachingenieur** [Buch] / Verf. GSI SIV. - Dresden : [s.n.], 2011.

**Praktikumsbericht 7. Semester - Qualitätsmanagement beim Bau des Tanklagers Amsterdam** [Bericht] / Verf. Bellmann Dino. - Brand-Erbisdorf : [s.n.], 2011.

**Qualitätsmanagement Handbuch** [Buch] / Verf. IMO Leipzig GmbH. - Arbeitsanweisungen : [s.n.].

**Schneidforum** [Online]. - 20. 09 2011. - <http://www.schneidforum.de/technik-blog/plasmaschneiden/vorteileplasma.html>.

**Wikipedia** [Online] // Tanks (Behälter). - 05. 07 2011. - [http://de.wikipedia.org/wiki/Tank\\_%28Beh%C3%A4lter%29](http://de.wikipedia.org/wiki/Tank_%28Beh%C3%A4lter%29).

**Wikipedia** [Online] // Behälter. - 12. 07 2011. - <http://de.wikipedia.org/wiki/Beh%C3%A4lter>.

**Wikipedia** [Online] // Tankatmung. - 05. 07 2011. - <http://de.wikipedia.org/wiki/Tankatmung>.



## **Anlagen**

Schweißfolgepläne für:

- Boden
- Boden-Mantel-Verbindung
- Mannlochkragen
- Quernaht

WPS für Verfahren 111, 121, 136

**Eigenständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

---

Ort, Datum

Vorname Nachname