

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 58 765 11 11
F +41 58 765 11 22
www.empa.ch



Materials Science & Technology

Herr Ernest Schilliger
Schilliger Holz-Industrie AG
Haltikon 33
6403 Küssnacht am Rigi

Prüfbericht Nr. 457502-1

Prüfauftrag:

**Holzfeuchteüberwachung von Salzsilos aus
Massivholzplatten**

Auftraggeber:

Schilliger Holz-Industrie AG, 6403 Küssnacht am Rigi

Prüfobjekt:

Salzsilos aus Massivholzplatten

Kundenreferenz:

Herr Ernest Schilliger

Ihr Auftrag vom:

17. Juni 2011

Ausführung der Prüfung:

Juni 2011 bis August 2012

Anzahl Seiten:

43

Beilagen:

Beilage 1: Prüfprogramm Blass & Eberhart, Seite 27 - 29
(ohne Zeichnungen)

Beilage 2: Bilder und Zeichnungen der Silos
Seiten 30 - 43

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
Dübendorf, 20. September 2012

Prüfleiter:

Walter Risi

Abteilungsleiterin:

Dr. Tanja Zimmermann

Anmerkung: Die Untersuchungsergebnisse haben nur Gültigkeit für das geprüfte Objekt. Das Verwenden des Berichtes zu Werbezwecken, der
blosse Hinweis darauf sowie auszugsweises Veröffentlichen bedürfen der Genehmigung der Empa (vgl. Merkblatt). Bericht und
Unterlagen werden 10 Jahre archiviert.

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Auftrag	4
3	Holzfeuchtemessungen.....	5
4	Ergebnisse	6
4.1	Kontinuierliche Messung am Salzsilo in Urdorf mit Hygro-Trac-Kit.....	6
4.2	Periodische Messung mit dem Bollmann-Holzfeuchte-Messgerät an allen Silos	12
5	Beurteilung	26
5.1	Empfehlung	26

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 4.1: Zusammenstellung HFÄ-Werte</i>	<i>11</i>
<i>Tabelle 4.2: Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo in Urdorf</i>	<i>12</i>
<i>Tabelle 4.3: Statistische Auswertung der Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo Urdorf</i>	<i>13</i>
<i>Tabelle 4.4: Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo in Wollerau</i>	<i>14</i>
<i>Tabelle 4.5: Statistische Auswertung der Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo Wollerau.....</i>	<i>15</i>
<i>Tabelle 4.6: Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo in Pfäffikon (SZ)</i>	<i>16</i>
<i>Tabelle 4.7: Statistische Auswertung der Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo Pfäffikon(SZ)</i>	<i>17</i>
<i>Tabelle 4.8: Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo in Neuheim.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabelle 4.9: Statistische Auswertung der Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo Neuheim</i>	<i>19</i>
<i>Tabelle 4.10: Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo in Biberbrugg</i>	<i>20</i>
<i>Tabelle 4.11: Statistische Auswertung der Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo Biberbrugg</i>	<i>21</i>
<i>Tabelle 4.12: Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo in Aeugst am Albis</i>	<i>23</i>
<i>Tabelle 4.13: Statistische Auswertung der Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo Aeugst am Albis</i>	<i>24</i>
<i>Tabelle 4.14: Summarische Auswertung der periodischen Holzfeuchtemessungen an den Silos.....</i>	<i>25</i>

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 4.1.1: Salzsilo Urdorf mit Sensoren für eine kontinuierliche Messung der Holzfeuchte</i>	<i>6</i>
<i>Abbildung 4.1.2: Temperatur- und Luftfeuchteverlauf.....</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 4.1.3: HFÄ-Werte der Sensoren im unteren Bereich.....</i>	<i>7</i>
<i>Abbildung 4.1.4: HFÄ-Werte der Sensoren im mittleren Bereich</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 4.1.5: HFÄ-Werte der Sensoren im oberen Bereich</i>	<i>8</i>
<i>Abbildung 4.1.6: HFÄ-Werte Südseite.....</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 4.1.7: HFÄ-Werte Ostseite</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 4.1.8: HFÄ-Werte Nordseite</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 4.1.9: HFÄ-Werte Westseite</i>	<i>10</i>
<i>Abbildung 4.2.1: Holzfeuchte Salzsilo Urdorf.....</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 4.2.2: Holzfeuchte Salzsilo Wollerau.....</i>	<i>15</i>
<i>Abbildung 4.2.3: Holzfeuchte Salzsilo Pfäffikon</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 4.2.4: Holzfeuchte Salzsilo Neuheim.....</i>	<i>19</i>
<i>Abbildung 4.2.5: Holzfeuchte Salzsilo Biberbrugg</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 4.2.6: Holzfeuchte Salzsilo Aeugst</i>	<i>24</i>

1 Einleitung

In Deutschland fordern Prüfengeieure für die Errichtung/Projektierung von Salzsilos die Annahme der Nutzungsklasse 3. Gemäss den Normen DIN EN 1995-1-1/NA:2010 *Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau* inklusive *Nationaler Anhang* erfasst die Nutzungsklasse 3 Klimabedingungen, welche zu höheren Holzfeuchten führen als in Nutzungsklasse 2, z.B. für Konstruktionen, die der Witterung ausgesetzt sind. Die Nutzungsklasse 2 dagegen ist gekennzeichnet durch eine Holzfeuchte, die einer Temperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte der umgebenden Luft entspricht, die nur für wenige Wochen je Jahr einen Wert von 85% übersteigt, z.B. bei überdachten offenen Bauwerken. In der EN 1995-1-1/NA:2010 ist zusätzlich angemerkt, dass in Nutzungsklasse 2 der mittlere Feuchtegehalt in den meisten Nadelhölzern 20% nicht übersteigt. Der Bau von Salzsilos aus Massivholzplatten (MHP) ist daher in Deutschland nicht möglich, weil bisher kein MHP-Produkt die Zulassung zum Einsatz in der Nutzungsklasse 3 hat.

Mit einem Messprogramm sollte deshalb untersucht werden, ob für Salzsilos aus Massivholzplatten zwingend die Annahme der Nutzungsklasse 3 erforderlich ist oder ob die reale Situation eher der Nutzungsklasse 2 entsprechen würde.

Am 10. März 2011 fand mit den direkt beteiligten Parteien (Prüfengeieur, Lieferant der Massivholzplatten, Produzent der Salzsilos) bei der Firma Blumer-Lehmann AG in Gossau eine Projekt-Besprechung statt. Dabei wurde beschlossen, an 6 Salzsilos ein einjähriges Messprogramm, bestehend aus periodischen und an einem Silo kontinuierlichen Messungen durchzuführen. Die kontinuierlichen Messungen wurden am 15.07.2011 und die periodischen Messungen am 15.09.2011 gestartet.

Im April 2012 wurden die periodischen Messungen nach einer Empfehlung des Ingenieurbüros Blass & Eberhard (Prüfengeieur) durch den Auftraggeber (Schilliger Holz-Industrie AG) abgebrochen. Am 12. Juli 2012 wurde an einer Sitzung bei der Firma Blumer-Lehmann AG in Gossau beschlossen, die vorhandenen Daten auszuwerten und in einem Bericht zusammenzufassen.

2 Auftrag

Die Schilliger Holz-Industrie AG, 6403 Küssnacht, beauftragte in einem E-Mail vom 17. Juni 2011 die Empa Abteilung Holz mit der Holzfeuchte-Überwachung von 6 Salzsilos aus Massivholzplatten gemäss dem durch den Prüfengeieur (Ingenieurbüro Blass & Eberhard, D-76227 Karlsruhe) zusammengestellten Prüfprogramm (Beilage 1).

Die Empa war für die Koordination der Messungen und für die Zusammenstellung und Beurteilung der Ergebnisse verantwortlich. Die Einstufung der Messergebnisse der Massivholzplatten in eine Nutzungsklasse erfolgte durch den Prüfenieur (Ingenieurbüro Blass & Eberhart).

3 Holzfeuchtemessungen

An 5 Salzsilos wurden durch die Blumer-Lehmann AG mit einem elektrischen Holzfeuchtemessgerät (Bollmann H-DI-3.10) an vorgegebenen Messstellen monatlich die Holzfeuchtigkeit gemessen. Die Durchführung der ersten und der jeweils dritten Messung im Quartal wurde durch die Empa überwacht.

Am Salzsilo in Urdorf wurde ein Dauer-Monitoring installiert, indem mit dem HygroTrac-Kit von Protimeter an 10 Messstellen alle Stunden der Material-Feuchtegehalt (Holzfeuchte-Äquivalentwert HFÄ), die Temperatur und die rel. Luftfeuchtigkeit registriert wurde. Ausserdem erfolgte an diesem Silo in Anwesenheit der Empa in jedem Quartal eine Kontrollmessung mit dem elektrischen Holzfeuchtemessgerät Bollmann H-DI-3.10.

Mit dem Bollmann-Holzfeuchtemessgerät wurde die Holzfeuchte mit isolierten Sonden in den Tiefen 5 mm, 10 mm und 0.5 * Plattendicke gemessen. Bei den Messungen wurde die herrschende Lufttemperatur mit einer Temperaturkompensation (Abstufung 20 °C) und die Holzart (Gruppe 4 für Fichte) berücksichtigt.

Beim HygroTrac-Kit von Protimeter bestehen die Sensoren aus nicht isolierten Edelstahlschrauben, die 10 mm tief in das Holz eingedreht wurden (Messanordnung quer zur Faserrichtung). Weil das Einsatzgebiet der HygroTrac-Sensoren für die Innenanwendung ausgelegt ist, musste jeder Sensor mit einem Wetterschutz aus Polystyrol gegen direkte Bewitterung geschützt werden (*Abbildung 4.1.1*).

Beim Hygro-Trac-Gerät ist keine Einstellmöglichkeit vorhanden, um die Holzart zu berücksichtigen und die HFÄ-Werte sind nicht temperaturkompensiert. Orientierende Vergleichsmessungen in den Labors der Empa vor Inbetriebnahme des Messsystems haben gezeigt, dass die ausgegebenen Messwerte bei 20 °C gegenüber der Darrholzfeuchte um 1 bis 2 Holzfeuchteprozent tiefer liegen.

Die Messstellen an den Silos sind den Zeichnungen der Beilage 2 zu entnehmen. Die Zeichnungen sind Teil des Prüfprogrammes von Blass & Eberhard und wurden von der Empa lediglich mit Messstellennummern ergänzt.

4 Ergebnisse

4.1 Kontinuierliche Messung am Salzsilo in Urdorf mit Hygro-Trac-Kit

In der Zeit vom 2.05.2012 bis 8.06.2012 wurden wegen Stromausfall keine Daten registriert.



Abbildung 4.1.1: Salzsilo Urdorf mit Sensoren für eine kontinuierliche Messung der Holzfeuchte

Die Sensoren sind durch eine Abdeckung aus Polystyrol vor der direkten Bewitterung geschützt.

oben S

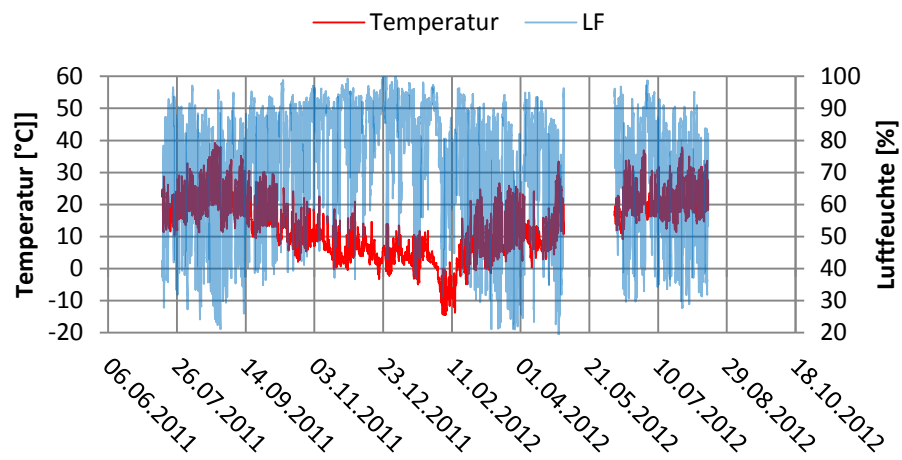


Abbildung 4.1.2: Temperatur- und Luftfeuchteverlauf

Klimaaufzeichnung des im oberen Bereich auf der Südseite angebrachten Sensors exemplarisch für alle Sensoren.

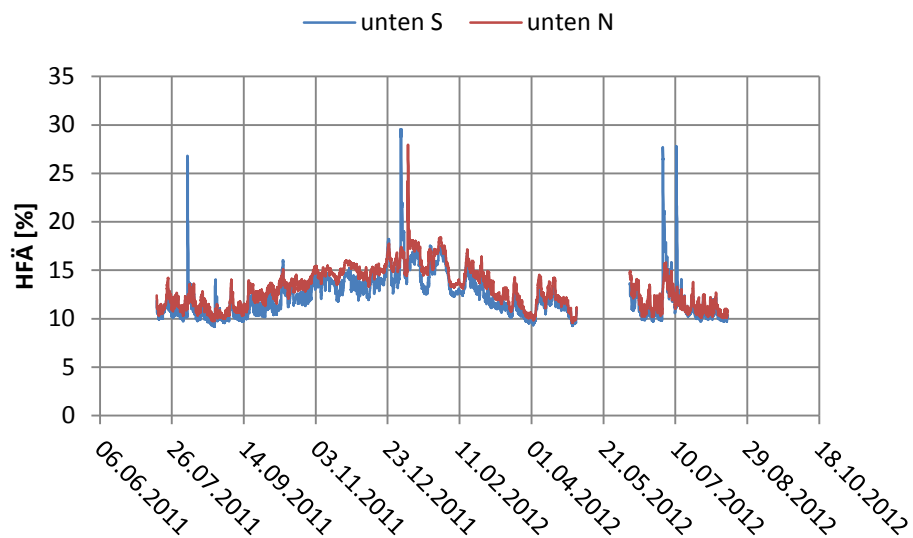


Abbildung 4.1.3: HFÄ-Werte der Sensoren im unteren Bereich

Vergleich der HFÄ-Werte der Messstellen auf der Süd- und Nordseite des Salzsilos.

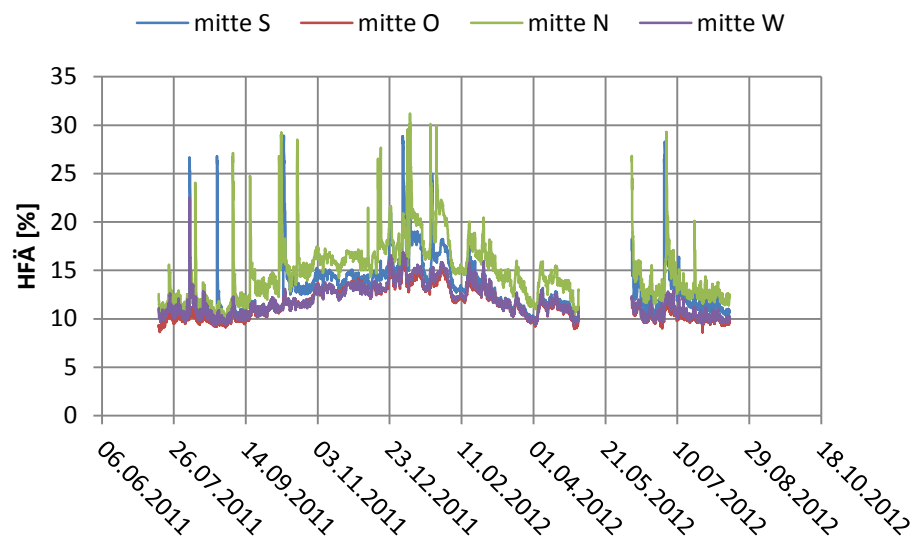


Abbildung 4.1.4: HFÄ-Werte der Sensoren im mittleren Bereich

Vergleich der HFÄ-Werte der Messstellen auf der Süd-, Ost-, Nord- und Westseite des Salzsilos.

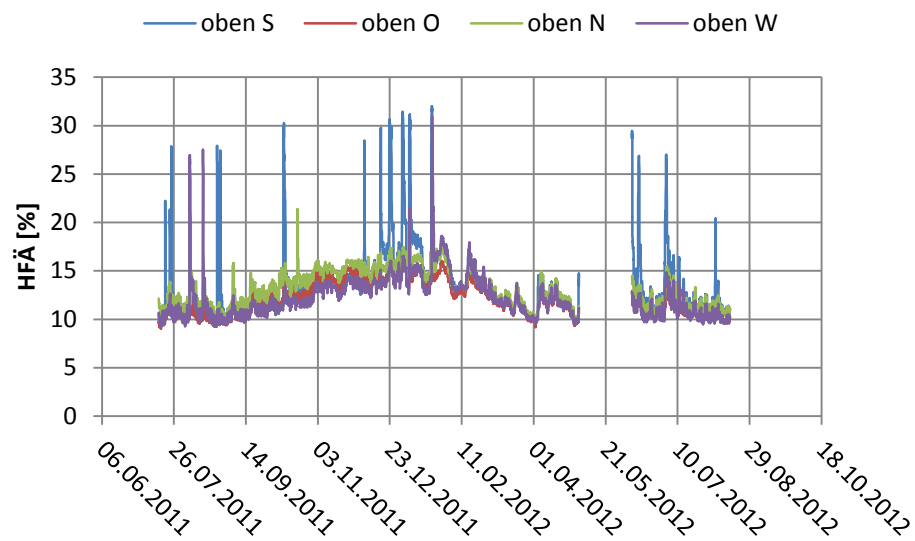


Abbildung 4.1.5: HFÄ-Werte der Sensoren im oberen Bereich

Vergleich der HFÄ-Werte der Messstellen auf der Süd- Ost- Nord und Westseite des Salzsilos.

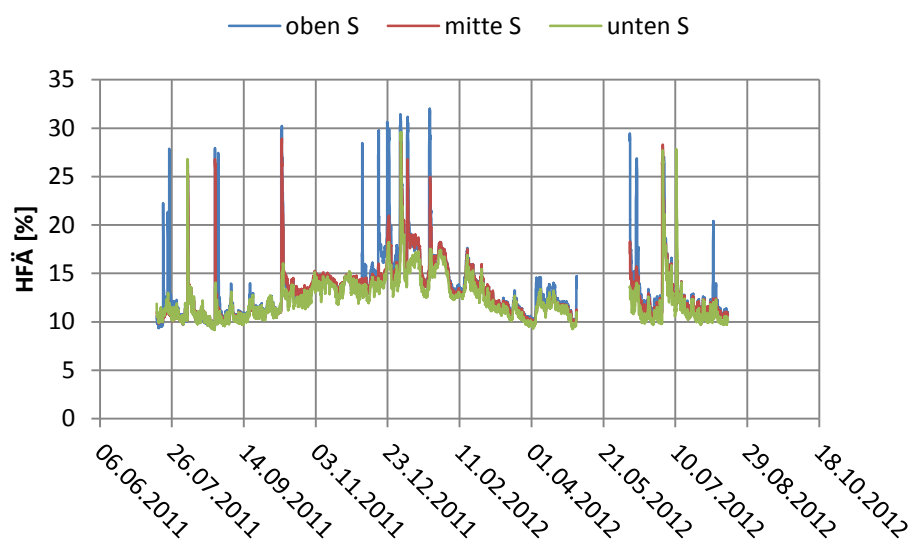


Abbildung 4.1.6: HFÄ-Werte Südseite

Vergleich der HFÄ-Werte der Messstellen im oberen, mittleren und unteren Bereich des Salzsilos.

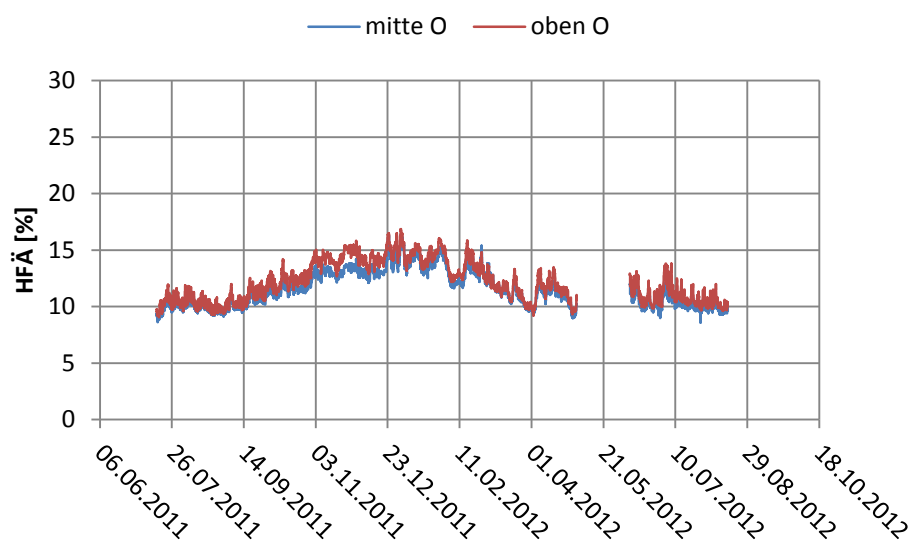


Abbildung 4.1.7: HFÄ-Werte Ostseite

Vergleich der HFÄ-Werte der Messstellen im mittleren und oberen Bereich des Salzsilos.

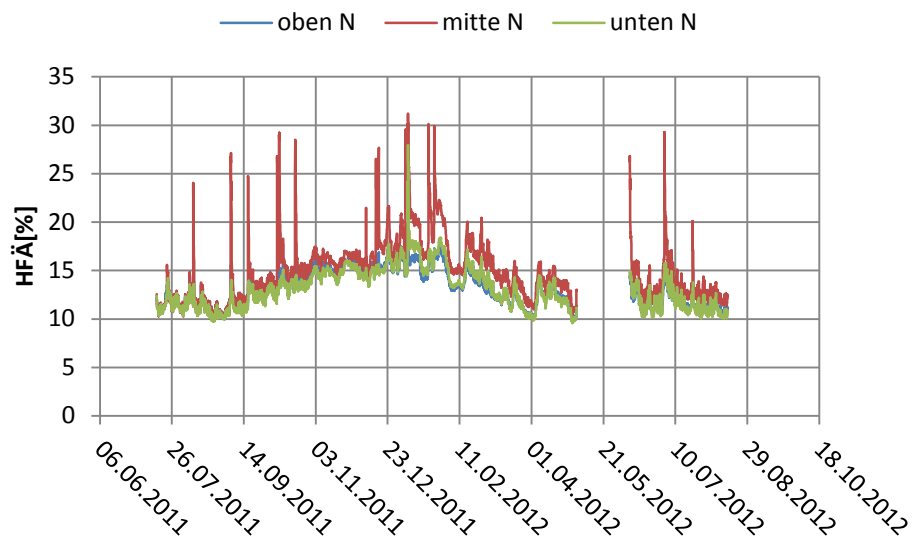


Abbildung 4.1.8: HFÄ-Werte Nordseite

Vergleich der HFÄ-Werte der Messstellen im oberen, mittleren und unteren Bereich des Salzsilos.

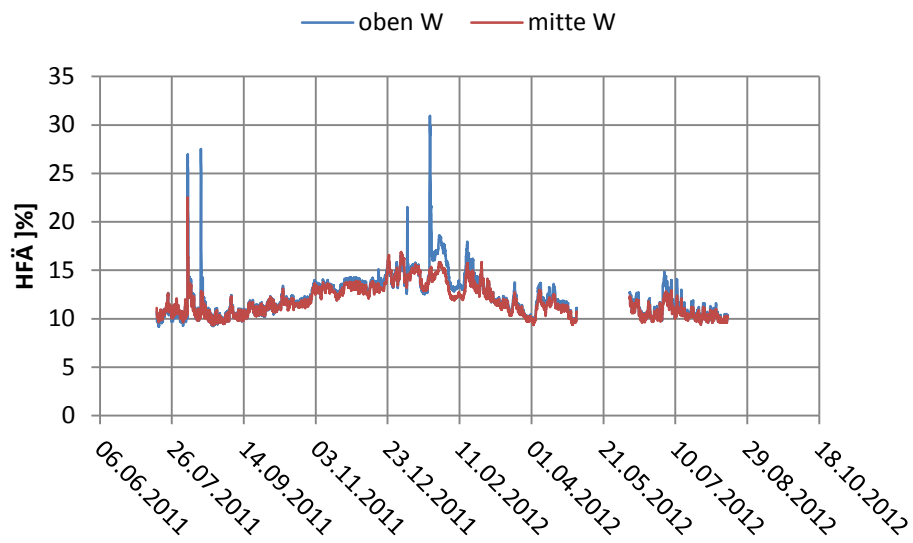


Abbildung 4.1.9: HFÄ-Werte Westseite

Vergleich der HFÄ-Werte der Messstellen im mittleren und oberen Bereich des Salzsilos.

Tabelle 4.1: Zusammenstellung HFÄ-Werte

Messstelle	Holzfeuchte-Äquivalent-Wert HFÄ [%] (Wert/h)			
	MIN	MAX	Mittelwert	Anzahl Werte >20%
oben Süden	9.2	32.0	13.3	3.9%
oben Osten	9.1	16.9	12.1	0.0%
oben Norden	9.9	21.4	13.1	0.0%
oben Westen	9.2	31.0	12.2	0.6%
Mitte Süden	9.3	28.9	13.0	2.5%
Mitte Osten	8.6	16.4	11.5	0.0%
Mitte Norden	9.8	31.2	14.8	6.9%
Mitte Westen	9.3	22.5	11.8	0.0%
unten Süden	9.2	29.6	12.3	0.9%
unten Norden	9.6	27.9	13.1	0.2%

Bereich der Messwerte und Anzahl (bzw. Prozentsatz) der Messwerte >20% in Abhängigkeit der Lage / Ausrichtung der Messstelle.

4.2 Periodische Messung mit dem Bollmann-Holzfeuchte-Messgerät an allen Silos

Tabelle 4.2: Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo in Urdorf

Messstelle	Exposition	Höhenlage	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]			
				15.07.2011	15.09.2011	28.11.2011	23.02.2012
1	S	oben	5	13.3	12.3	13.6	13.8
1	S	oben	10	12.8	14.7	15.0	16.5
1	S	oben	20	12.6	14.8	15.5	16.8
2	O	oben	5	12.9	12.3	18.3	17.5
2	O	oben	10	13.0	12.9	17.8	17.3
2	O	oben	20	14.9	13.4	16.6	17.0
3	N	oben	5	14.7	15.1	19.1	17.9
3	N	oben	10	15.0	16.1	18.7	18.2
3	N	oben	20	15.4	16.4	18.0	17.9
4	W	oben	5	12.6	12.8	16.7	16.0
4	W	oben	10	13.0	14.1	16.3	16.2
4	W	oben	20	13.7	14.5	16.0	15.8
5	S	Mitte	5	14.8	13.6	15.4	14.8
5	S	Mitte	10	14.2	15.5	16.4	16.1
5	S	Mitte	20	14.8	15.9	16.4	16.8
6	O	Mitte	5	12.0	12.6	18.2	18.0
6	O	Mitte	10	13.1	13.9	17.8	17.5
6	O	Mitte	20	14.1	14.1	17.0	16.0
7	N	Mitte	5	15.5	14.7	19.0	18.5
7	N	Mitte	10	15.0	15.3	18.7	18.9
7	N	Mitte	20	15.4	15.5	17.2	18.2
8	W	Mitte	5	13.9	13.0	17.2	17.0
8	W	Mitte	10	13.0	13.7	16.8	16.6
8	W	Mitte	20	13.2	14.7	16.0	15.9
9	S	Übergang	5	15.8	12.7	16.3	16.3
9	S	Übergang	10	14.9	14.7	16.4	16.7
9	S	Übergang	20	13.3	14.8	16.2	16.2
10	N	Übergang	5	15.6	14.3	19.4	18.1
10	N	Übergang	10	14.7	14.7	17.7	18.2
10	N	Übergang	20	14.4	14.4	16.5	18.1
11	O	Übergang	5	13.2	13.1	19.1	18.2
11	O	Übergang	10	13.0	13.2	18.3	17.8
11	O	Übergang	20	12.8	13.2	16.9	17.0
12	W	Übergang	5	14.8	13.6	17.2	17.8
12	W	Übergang	10	13.2	14.1	16.9	17.1
12	W	Übergang	20	13.2	14.2	15.8	16.3

Tabelle 4.3: Statistische Auswertung der Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo Urdorf

	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]			
		15.07.2011	15.09.2011	28.11.2011	23.02.2012
Anzahl	5	12	12	12	12
Mittelwert		14.1	13.3	17.5	17.0
MIN		12.0	12.3	13.6	13.8
MAX		15.8	15.1	19.4	18.5
Standardabweichung		1.28	0.93	1.76	1.48
Variationskoeffizient		9.1%	7.0%	10.1%	8.7%
Anzahl	10	12.0	12.0	12.0	12.0
Mittelwert		13.7	14.4	17.2	17.3
MIN		12.8	12.9	15.0	16.1
MAX		15.0	16.1	18.7	18.9
Standardabweichung		0.93	0.94	1.12	0.89
Variationskoeffizient		6.7%	6.5%	6.5%	5.1%
Anzahl	20	12.0	12.0	12.0	12.0
Mittelwert		14.0	14.7	16.5	16.8
MIN		12.6	13.2	15.5	15.8
MAX		15.4	16.4	18.0	18.2
Standardabweichung		0.99	0.94	0.69	0.85
Variationskoeffizient		7.1%	6.4%	4.2%	5.1%

Urdorf

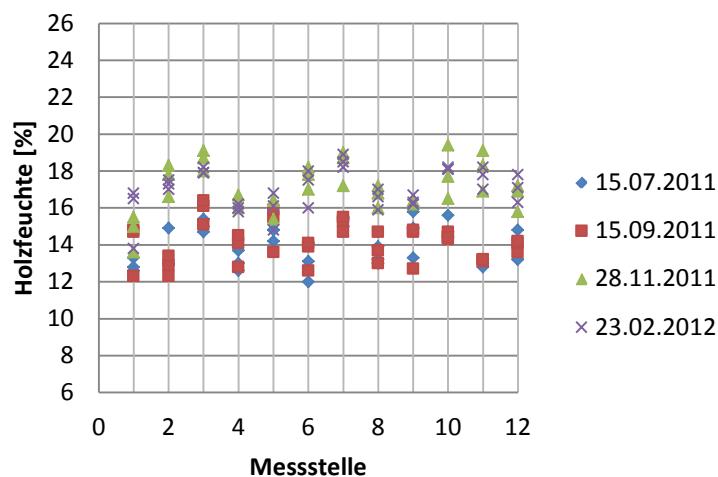


Abbildung 4.2.1: Holzfeuchte Salzsilo Urdorf

Mit dem Bollmann-Holzfeuchte-Messgerät manuell erfasste Holzfeuchtemesswerte zu verschiedenen Zeitpunkten in unterschiedlichen Tiefen, Expositionen und Silobereichen gemäss vorangehender Tabelle.

Tabelle 4.4: Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo in Wollerau

Messstelle	Exposition	Höhenlage	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]						
				15.09.2011	21.10.2011	28.11.2011	15.12.2011	25.01.2012	23.02.2012	30.03.2012
1	SW	oben	5	15.4	15.3	10.0	20.4	19.0	14.6	10.4
1	SW	oben	10	14.6	15.5	10.4	19.6	18.2	16.5	11.7
1	SW	oben	17.5	13.7	15.0	10.2	19.8	16.3	17.5	13.6
2	SO	oben	5	12.6	15.3	9.9	18.6	16.5	12.5	8.4
2	SO	oben	10	12.0	15.8	10.5	16.1	14.6	13.8	10.0
2	SO	oben	17.5	12.1	15.0	10.5	13.6	13.7	14.2	12.2
3	SO	oben	5	13.0	15.5	8.9	19.8	17.7	12.4	7.4
3	SO	oben	10	12.5	16.1	10.0	19.4	15.7	13.0	8.5
3	SO	oben	17.5	12.2	15.5	10.1	14.2	14.2	13.9	11.9
4	NO	oben	5	15.2	18.8	13.2	19.6	17.2	17.4	10.6
4	NO	oben	10	13.0	18.3	12.6	16.2	15.0	16.0	11.6
4	NO	oben	17.5	12.2	16.9	12.8	14.9	15.1	15.5	12.9
5	NW	oben	5	19.8	22.7	19.0	22.1	19.8	21.0	17.5
5	NW	oben	10	16.2	21.4	17.0	17.1	18.7	18.7	15.4
5	NW	oben	17.5	16.0	18.9	15.4	17.8	18.0	18.3	15.8
6	NW	Mitte	5	23.9	22.7	19.2	19.9	20.0	18.4	17.8
6	NW	Mitte	10	16.2	23.6	20.4	19.4	19.2	19.2	14.4
6	NW	Mitte	17.5	17.5	18.7	16.0	16.7	18.4	19.0	14.7
7	SW	Mitte	5	13.5	15.0	10.0	21.2	20.0	15.3	9.8
7	SW	Mitte	10	13.0	15.6	10.8	22.2	19.2	16.4	12.7
7	SW	Mitte	17.5	14.2	17.0	11.2	22.0	18.9	16.5	13.5
8	SO	Mitte	5	11.8	13.2	8.8	15.7	14.6	12.2	8.0
8	SO	Mitte	10	11.4	14.5	11.0	14.6	14.2	14.2	10.0
8	SO	Mitte	17.5	12.0	15.9	11.2	14.4	13.9	15.2	13.3
9	SO	Mitte	5	12.5	13.2	9.3	18.4	16.5	12.3	10.1
9	SO	Mitte	10	12.8	14.4	10.0	16.7	15.6	15.1	12.0
9	SO	Mitte	17.5	13.4	15.7	12.8	13.5	14.6	15.1	12.3
10	NO	Mitte	5	15.3	16.5	12.4	17.2	17.8	16.6	11.9
10	NO	Mitte	10	14.5	16.3	12.3	16.3	17.0	16.5	13.7
10	NO	Mitte	17.5	14.8	15.4	12.8	15.6	15.5	16.7	14.1
11	NW	Mitte	5	20.0	21.7	16.6	18.7	18.8	19.5	16.2
11	NW	Mitte	10	17.8	20.0	15.6	15.0	19.3	19.8	14.7
11	NW	Mitte	17.5	14.8	17.5	15.2	14.7	17.2	20.1	13.9
12	NW	Übergang	5	21.8	22.2	20.0	19.8	19.3	19.4	16.5
12	NW	Übergang	10	17.8	21.4	18.0	18.7	18.7	20.0	16.4
12	NW	Übergang	17.5	16.0	18.6	15.4	16.7	17.4	19.7	14.4
13	SW	Übergang	5	14.9	15.8	10.6	19.8	18.9	14.5	10.4
13	SW	Übergang	10	13.3	15.2	10.7	18.8	17.0	16.0	12.2
13	SW	Übergang	17.5	13.0	13.9	10.9	18.5	16.5	16.6	13.6
14	SO	Übergang	5	12.2	13.9	10.3	15.4	15.5	12.5	7.5
14	SO	Übergang	10	12.1	15.2	11.0	15.1	14.3	14.5	10.4
14	SO	Übergang	17.5	12.3	15.0	11.0	14.4	13.7	15.5	12.2
15	SO	Übergang	5	14.4	16.3	10.7	18.4	17.1	13.9	9.0
15	SO	Übergang	10	13.7	15.9	11.4	17.1	16.2	15.5	10.0
15	SO	Übergang	17.5	13.2	15.0	11.8	14.8	16.0	15.2	10.5
16	NO	Übergang	5	16.5	17.3	13.3	17.5	18.4	17.7	11.7
16	NO	Übergang	10	15.0	16.9	13.3	16.7	17.7	17.5	12.3
16	NO	Übergang	17.5	15.6	15.3	12.4	16.3	15.2	16.6	12.6
17	NW	Übergang	5	24.4	23.5	19.2	19.5	19.5	19.7	17.5
17	NW	Übergang	10	14.2	20.0	20.2	17.0	17.2	21.6	15.5
17	NW	Übergang	17.5	12.3	15.9	20.6	16.2	15.3	16.2	14.2
18	NW	Übergang	5	23.4	22.1	18.3	21.9	20.0	18.5	16.8
18	NW	Übergang	10	17.1	22.4	17.2	20.7	18.3	18.9	14.4
18	NW	Übergang	17.5	16.0	18.8	15.6	18.2	15.1	16.5	12.4

Tabelle 4.5: Statistische Auswertung der Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo Wollerau

	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]						
		15.09.2011	21.10.2011	28.11.2011	15.12.2011	25.01.2012	23.02.2012	30.03.2012
Anzahl	5	18	18	18	18	18	18	18
Mittelwert		16.7	17.8	13.3	19.1	18.1	16.0	12.1
MIN		11.8	13.2	8.8	15.4	14.6	12.2	7.4
MAX		24.4	23.5	20.0	22.1	20.0	21.0	17.8
Standardabweichung		4.34	3.65	4.17	1.85	1.63	3.01	3.83
Variationskoeffizient		26.0%	20.4%	31.3%	9.7%	9.0%	18.8%	31.7%
Anzahl	10	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
Mittelwert		14.3	17.7	13.5	17.6	17.0	16.8	12.6
MIN		11.4	14.4	10.0	14.6	14.2	13.0	8.5
MAX		17.8	23.6	20.4	22.2	19.3	21.6	16.4
Standardabweichung		2.01	2.97	3.60	2.09	1.78	2.40	2.26
Variationskoeffizient		14.1%	16.8%	26.7%	11.9%	10.4%	14.3%	18.0%
Anzahl	17.5	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0
Mittelwert		14.0	16.3	13.1	16.2	15.8	16.6	13.2
MIN		12.0	13.9	10.1	13.5	13.7	13.9	10.5
MAX		17.5	18.9	20.6	22.0	18.9	20.1	15.8
Standardabweichung		1.72	1.57	2.75	2.30	1.62	1.77	1.24
Variationskoeffizient		12.3%	9.6%	21.0%	14.1%	10.2%	10.7%	9.4%

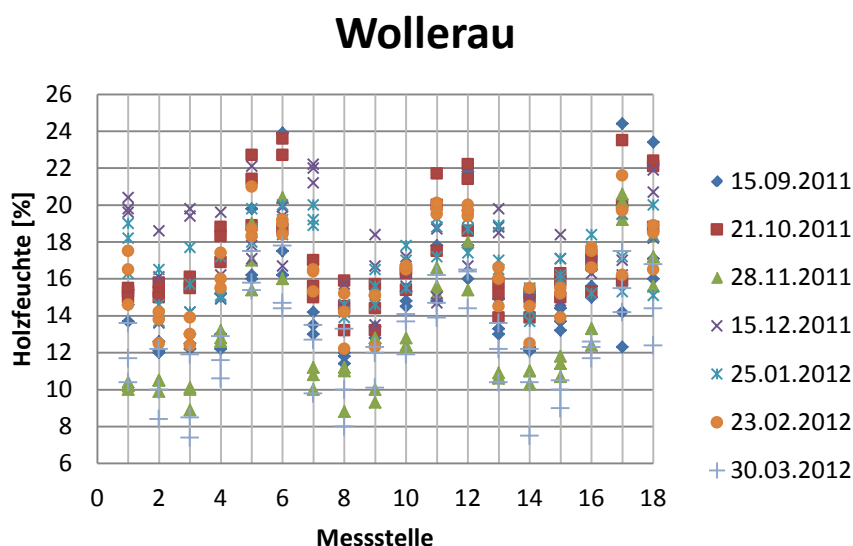


Abbildung 4.2.2: Holzfeuchte Salzsilo Wollerau

Mit dem Bollmann-Holzfeuchte-Messgerät manuell erfasste Holzfeuchtemesswerte zu verschiedenen Zeitpunkten in unterschiedlichen Tiefen, Expositionen und Silobereichen gemäss vorangehender Tabelle.

Tabelle 4.6: Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo in Pfäffikon (SZ)

Messstelle	Exposition	Höhenlage	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]						
				15.09.2011	21.10.2011	28.11.2011	15.12.2011	25.01.2011	23.02.2012	30.03.2012
1	S	oben	5	12.3	15.9	12.4	13.5	13.0	13.0	7.5
1	S	oben	10	10.3	13.2	11.7	13.1	12.7	12.6	10.0
1	S	oben	22.5	10.6	12.4	11.2	11.8	13.1	13.4	10.6
2	O	oben	5	11.2	17.6	16.5	15.4	16.3	15.7	10.4
2	O	oben	10	11.6	17.1	15.4	13.8	14.7	15.9	11.7
2	O	oben	22.5	11.4	12.5	14.7	12.9	13.3	15.7	12.6
3	N	oben	5	13.9	18.5	17.6	15.5	16.4	18.4	13.1
3	N	oben	10	14.7	15.1	16.4	15.8	15.6	18.0	13.4
3	N	oben	22.5	14.9	14.7	15.3	15.2	15.2	17.4	13.6
4	N	oben	5	13.6	17.8	17.5	15.8	16.6	18.8	12.1
4	N	oben	10	13.5	14.8	16.0	15.4	15.6	16.9	12.7
4	N	oben	22.5	14.7	14.7	15.3	15.0	16.5	16.4	15.2
5	W	oben	5	13.6	17.1	14.8	16.6	15.8	16.9	11.6
5	W	oben	10	15.1	15.0	13.6	15.9	15.6	17.6	13.1
5	W	oben	22.5	16.0	14.6	13.8	13.2	15.3	17.0	13.8
6	S	oben	5	Werbetafel						
6	S	oben	10	Werbetafel						
6	S	oben	22.5	Werbetafel						
7	S	Mitte	5	11.0	14.8	10.1	12.0	11.5	11.1	9.8
7	S	Mitte	10	12.5	13.2	10.3	12.2	12.3	13.8	10.4
7	S	Mitte	22.5	14.0	13.1	11.7	12.3	12.7	14.4	11.4
8	O	Mitte	5	12.3	15.6	14.0	14.3	14.7	15.2	8.4
8	O	Mitte	10	12.8	14.2	13.7	13.8	14.5	15.7	11.2
8	O	Mitte	22.5	13.9	13.8	13.4	13.9	14.2	16.1	12.0
9	N	Mitte	5	14.4	18.5	17.7	15.9	16.3	18.4	13.0
9	N	Mitte	10	14.2	15.9	16.5	15.4	15.1	17.4	13.4
9	N	Mitte	22.5	14.5	15.4	15.1	15.0	14.9	16.6	13.8
10	N	Mitte	5	15.0	18.5	17.3	16.1	15.9	18.0	12.9
10	N	Mitte	10	13.8	15.4	15.5	14.9	15.0	16.6	14.4
10	N	Mitte	22.5	15.0	15.4	14.6	13.5	15.2	15.9	14.6
11	W	Mitte	5	13.1	17.2	15.1	15.7	15.2	16.5	10.4
11	W	Mitte	10	14.0	14.7	13.4	15.0	15.0	17.3	13.4
11	W	Mitte	22.5	14.4	15.2	13.5	13.8	14.9	16.4	14.2
12	S	Mitte	5	Werbetafel						
12	S	Mitte	10	Werbetafel						
12	S	Mitte	22.5	Werbetafel						
13	S	Übergang	5	11.9	16.1	11.5	13.5	13.1	11.0	10.5
13	S	Übergang	10	12.2	13.5	11.7	13.1	13.2	13.8	11.5
13	S	Übergang	22.5	12.9	12.9	12.0	12.1	13.4	14.2	11.7
14	O	Übergang	5	13.1	17.1	14.9	14.4	15.0	15.3	9.7
14	O	Übergang	10	11.5	15.1	14.5	13.5	14.0	15.4	11.6
14	O	Übergang	22.5	12.0	13.7	14.1	13.3	13.5	15.3	12.6
15	N	Übergang	5	15.6	19.4	17.4	16.2	16.5	18.4	12.6
15	N	Übergang	10	14.8	15.5	15.5	15.2	15.0	16.6	13.0
15	N	Übergang	22.5	14.4	14.1	13.6	14.7	14.6	15.8	13.6
16	N	Übergang	5	15.4	18.6	18.7	16.8	15.4	17.9	12.5
16	N	Übergang	10	13.7	15.6	17.1	15.4	14.4	16.7	13.5
16	N	Übergang	22.5	13.5	16.1	14.8	14.0	14.2	16.3	14.0
17	W	Übergang	5	14.3	18.0	15.4	15.4	16.1	15.3	10.3
17	W	Übergang	10	12.7	14.8	12.7	14.5	15.6	16.5	13.5
17	W	Übergang	22.5	13.1	13.3	12.4	15.3	14.9	16.0	14.5
18	S	Übergang	5	Werbetafel						
18	S	Übergang	10	Werbetafel						
18	S	Übergang	22.5	Werbetafel						

Die Messstellen 6, 12 und 18 konnten nicht gemessen werden, weil sie durch Werbetafeln abgedeckt sind.

Tabelle 4.7: Statistische Auswertung der Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo Pfäffikon(SZ)

	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]						
		15.09.2011	21.10.2011	28.11.2011	15.12.2011	25.01.2011	23.02.2012	30.03.2012
Anzahl	5	15	15	15	15	15	15	15
Mittelwert		13.4	17.4	15.4	15.1	15.2	16.0	11.0
MIN		11.0	14.8	10.1	12.0	11.5	11.0	7.5
MAX		15.6	19.4	18.7	16.8	16.6	18.8	13.1
Standardabweichung		5.29	1.30	2.52	1.34	1.52	2.58	1.73
Variationskoeffizient		39.6%	7.5%	16.4%	8.8%	10.0%	16.2%	15.8%
Anzahl	10	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Mittelwert		13.2	14.9	14.3	14.5	14.6	16.1	12.5
MIN		10.3	13.2	10.3	12.2	12.3	12.6	10.0
MAX		15.1	17.1	17.1	15.9	15.6	18.0	14.4
Standardabweichung		5.20	1.05	2.03	1.14	1.07	1.56	1.29
Variationskoeffizient		39.5%	7.0%	14.2%	7.9%	7.3%	9.7%	10.4%
Anzahl	22.5	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Mittelwert		13.7	14.1	13.7	13.7	14.4	15.8	13.2
MIN		10.6	12.4	11.2	11.8	12.7	13.4	10.6
MAX		16.0	16.1	15.3	15.3	16.5	17.4	15.2
Standardabweichung		5.41	1.14	1.34	1.15	1.03	1.08	1.33
Variationskoeffizient		39.6%	8.1%	9.8%	8.4%	7.2%	6.8%	10.1%

Pfäffikon

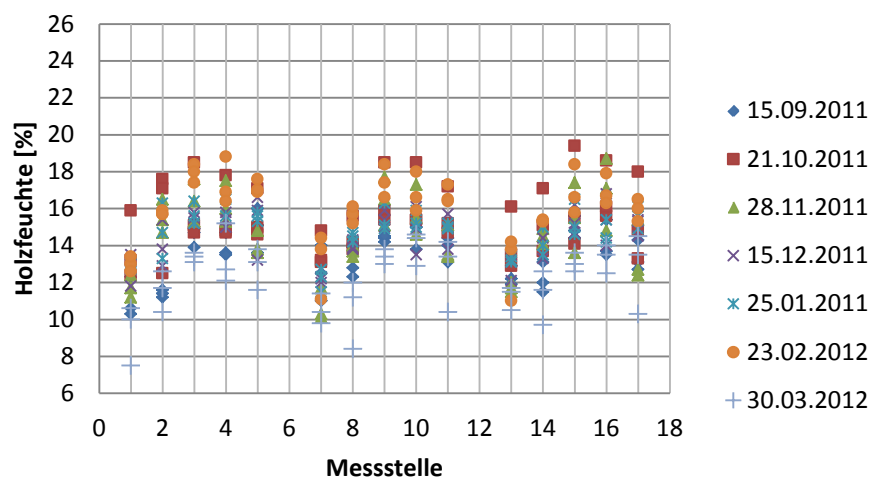


Abbildung 4.2.3: Holzfeuchte Salzsilo Pfäffikon

Mit dem Bollmann-Holzfeuchte-Messgerät manuell erfasste Holzfeuchtemesswerte zu verschiedenen Zeitpunkten in unterschiedlichen Tiefen, Expositionen und Silobereichen gemäss vorangehender Tabelle.

Tabelle 4.8: Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo in Neuheim

Messstelle	Exposition	Höhenlage	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]						
				15.09.2011	21.10.2011	28.11.2011	15.12.2011	25.01.2012	23.02.2012	30.03.2012
1	W	oben	5	14.4	16.8	14.0	20.4	19.7	18.2	12.2
1	W	oben	10	13.3	15.9	14.7	19.6	18.7	17.6	11.5
1	W	oben	15	12.0	14.4	14.8	16.5	17.0	18.1	11.9
2	S	oben	5	12.7	15.3	14.0	19.8	16.9	13.0	8.0
2	S	oben	10	12.4	14.6	14.0	17.7	16.4	15.5	11.3
2	S	oben	15	12.0	13.8	13.5	14.2	15.8	15.8	12.4
3	O	oben	5	13.0	16.5	15.8	18.7	18.7	17.9	11.2
3	O	oben	10	13.6	16.3	15.7	16.9	17.6	17.5	12.5
3	O	oben	15	14.0	16.0	15.0	15.4	17.3	17.0	14.4
4	N	oben	5	14.5	18.2	18.5	17.1	18.8	17.0	12.4
4	N	oben	10	15.1	17.7	17.8	15.9	18.0	17.0	12.8
4	N	oben	15	15.5	16.4	16.7	14.4	16.8	18.2	13.9
5	W	Mitte	5	13.5	15.9	12.5	20.4	18.4	15.4	10.6
5	W	Mitte	10	13.8	15.8	12.8	18.6	18.0	17.2	10.9
5	W	Mitte	15	16.5	15.5	13.0	14.3	17.5	18.2	11.5
6	S	Mitte	5	12.5	14.5	13.0	19.5	17.8	14.0	9.8
6	S	Mitte	10	12.5	14.3	14.2	18.2	16.2	16.2	11.0
6	S	Mitte	15	12.7	14.0	14.2	17.2	15.5	16.5	11.8
7	O	Mitte	5	13.5	16.9	16.8	18.5	19.0	18.2	11.0
7	O	Mitte	10	14.3	16.3	16.6	17.1	17.2	17.7	12.7
7	O	Mitte	15	15.5	15.5	15.8	16.5	16.7	17.1	13.5
8	N	Mitte	5	15.8	18.4	19.0	18.2	18.7	18.1	13.0
8	N	Mitte	10	15.4	18.0	18.5	16.9	17.7	19.4	14.5
8	N	Mitte	15	15.6	17.5	17.6	15.4	17.2	19.2	15.7
9	W	Übergang	5	15.0	17.2	12.7	19.8	18.7	15.4	10.4
9	W	Übergang	10	14.0	16.6	12.8	20.1	18.5	17.7	12.0
9	W	Übergang	15	13.2	16.0	12.5	17.6	18.0	18.2	12.4
10	S	Übergang	5	13.2	15.8	13.6	20.0	18.2	14.0	8.2
10	S	Übergang	10	13.1	15.4	13.8	19.8	17.5	15.4	10.7
10	S	Übergang	15	13.0	14.6	13.6	19.0	16.9	16.3	11.2
11	O	Übergang	5	14.8	17.9	17.0	18.7	18.6	17.8	10.8
11	O	Übergang	10	14.5	17.6	16.5	17.7	16.8	18.1	12.0
11	O	Übergang	15	14.2	16.9	16.1	17.6	16.7	18.3	12.4
12	N	Übergang	5	15.7	18.8	19.3	17.6	18.4	18.0	12.6
12	N	Übergang	10	15.5	18.3	18.4	16.8	17.7	18.0	13.9
12	N	Übergang	15	15.1	17.5	17.2	14.9	16.8	17.9	14.5

Tabelle 4.9: Statistische Auswertung der Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo Neuheim

	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]						
		15.09.2011	21.10.2011	28.11.2011	15.12.2011	25.01.2012	23.02.2012	30.03.2012
Anzahl	5	12	12	12	12	12	12	12
Mittelwert		14.1	16.9	15.5	19.1	18.5	16.4	10.9
MIN		12.5	14.5	12.5	17.1	16.9	13.0	8.0
MAX		15.8	18.8	19.3	20.4	19.7	18.2	13.0
Standardabweichung		1.14	1.32	2.54	1.09	0.68	1.94	1.61
Variationskoeffizient		8.1%	7.9%	16.4%	5.7%	3.7%	11.8%	14.9%
Anzahl	10	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Mittelwert		14.0	16.4	15.5	17.9	17.5	17.3	12.2
MIN		12.4	14.3	12.8	15.9	16.2	15.4	10.7
MAX		15.5	18.3	18.5	20.1	18.7	19.4	14.5
Standardabweichung		1.05	1.30	2.07	1.34	0.77	1.13	1.19
Variationskoeffizient		7.5%	7.9%	13.3%	7.5%	4.4%	6.6%	9.8%
Anzahl	15	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Mittelwert		14.1	15.7	15.0	16.1	16.9	17.6	13.0
MIN		12.0	13.8	12.5	14.2	15.5	15.8	11.2
MAX		16.5	17.5	17.6	19.0	18.0	19.2	15.7
Standardabweichung		1.53	1.28	1.69	1.55	0.68	1.01	1.41
Variationskoeffizient		10.8%	8.2%	11.3%	9.7%	4.0%	5.7%	10.8%

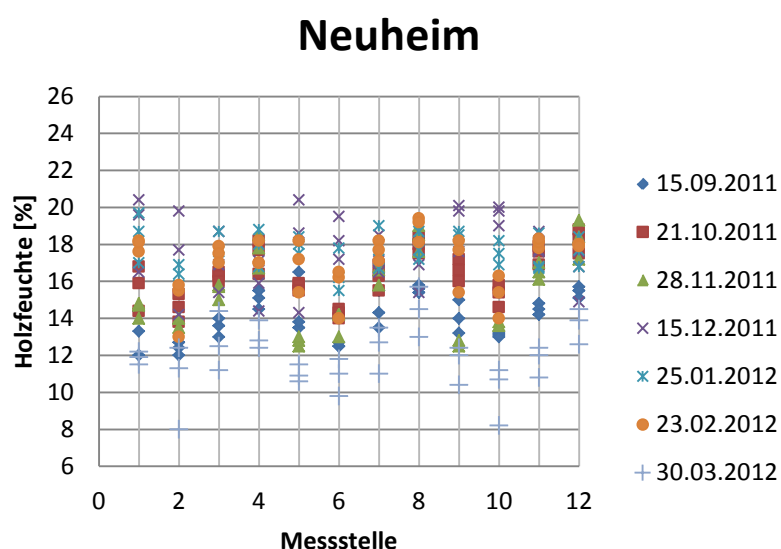


Abbildung 4.2.4: Holzfeuchte Salzsilo Neuheim

Mit dem Bollmann-Holzfeuchte-Messgerät manuell erfasste Holzfeuchtemesswerte zu verschiedenen Zeitpunkten in unterschiedlichen Tiefen, Expositionen und Silobereichen gemäss vorangehender Tabelle.

Tabelle 4.10: Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo in Biberbrugg

Messstelle	Exposition	Höhenlage	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]						
				15.09.2011	21.10.2011	28.11.2011	15.12.2011	25.01.2011	23.02.2012	30.03.2012
1	W	oben	5	12.4	12.8	11.1	19.3	15.8	11.9	7.9
1	W	oben	10	12.2	12.5	11.2	18.4	15.5	13.5	10.6
1	W	oben	20	13.2	13.1	11.5	15.8	15.3	14.8	11.4
2	S	oben	5	10.6	10.3	8.4	15.9	12.3	11.8	9.5
2	S	oben	10	12.1	11.7	9.9	13.1	12.7	12.3	10.2
2	S	oben	20	13.5	12.5	10.4	12.8	13.0	13.5	10.9
3	SO	oben	5	19.8	17.0	14.7	19.5	16.5	16.6	15.0
3	SO	oben	10	16.8	16.3	14.4	18.7	15.5	16.0	14.7
3	SO	oben	20	15.3	16.6	14.0	18.1	15.6	15.5	13.1
4	S	oben	5	11.2	12.3	7.4	20.0	15.2	12.4	10.6
4	S	oben	10	11.0	10.5	8.1	19.2	14.1	12.9	11.2
4	S	oben	20	11.4	10.6	7.4	13.6	14.1	14.8	12.2
5	O	oben	5	13.7	16.9	12.6	16.4	14.6	14.4	12.0
5	O	oben	10	13.1	16.4	13.6	16.4	15.2	16.0	13.4
5	O	oben	20	18.5	15.8	14.2	15.9	15.2	16.4	13.8
6	N	oben	5	16.9	17.8	15.2	19.3	16.5	17.0	13.4
6	N	oben	10	16.0	17.2	15.1	18.8	16.1	17.0	13.7
6	N	oben	20	15.6	16.7	15.4	17.1	15.7	17.8	14.5
7	NW	oben	5	22.4	21.8	17.4	19.5	19.3	12.3	15.1
7	NW	oben	10	24.5	21.2	17.8	19.1	17.8	14.5	16.5
7	NW	oben	20	16.2	20.9	18.0	18.7	16.3	16.2	17.5
8	N	oben	5	16.8	17.5	14.8	19.0	16.0	16.4	13.4
8	N	oben	10	15.0	17.2	14.6	17.9	15.4	16.2	13.5
8	N	oben	20	14.8	16.3	14.5	17.7	15.2	16.5	13.6
9	W	Mitte	5	12.8	12.4	10.8	18.6	16.4	13.2	8.9
9	W	Mitte	10	13.4	12.6	11.3	17.0	14.4	15.4	11.8
9	W	Mitte	20	14.1	13.5	11.8	15.3	14.7	15.9	12.5
10	S	Mitte	5	10.8	11.3	7.9	18.2	12.6	12.3	10.0
10	S	Mitte	10	11.3	12.1	8.1	13.7	13.0	13.0	10.4
10	S	Mitte	20	12.3	13.3	10.1	13.1	13.8	14.5	10.9
11	SO	Mitte	5	21.1	21.5	17.5	20.9	18.6	18.8	16.5
11	SO	Mitte	10	18.5	20.3	15.8	19.8	15.7	17.5	15.5
11	SO	Mitte	20	15.5	17.5	15.7	17.7	15.5	17.0	15.0
12	S	Mitte	5	11.8	10.7	8.1	16.0	16.0	12.2	9.9
12	S	Mitte	10	13.0	11.8	10.3	15.5	15.0	14.8	11.4
12	S	Mitte	20	12.7	13.8	13.2	17.7	14.9	16.1	12.2
13	O	Mitte	5	15.4	18.9	13.9	18.0	16.5	16.2	12.5
13	O	Mitte	10	15.6	17.7	14.2	17.1	15.6	16.6	13.0
13	O	Mitte	20	17.2	16.9	14.3	17.6	14.6	17.0	13.4
14	N	Mitte	5	16.0	17.2	15.0	18.7	16.0	16.1	12.7
14	N	Mitte	10	15.5	16.1	15.0	17.8	17.4	16.0	13.6
14	N	Mitte	20	16.0	15.2	15.3	17.1	17.7	16.1	13.8
15	NW	Mitte	5	25.4	21.4	18.8	24.6	19.6	18.9	14.1
15	NW	Mitte	10	22.8	20.5	19.0	20.4	17.5	19.2	15.6
15	NW	Mitte	20	17.0	20.1	18.5	19.1	15.2	19.4	16.7

Messstelle	Exposition	Höhenlage	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]						
				15.09.2011	21.10.2011	28.11.2011	15.12.2011	25.01.2011	23.02.2012	30.03.2012
16	N	Übergang	5	16.8	18.2	16.1	19.8	16.6	17.0	12.1
16	N	Übergang	10	17.0	17.8	15.4	18.8	15.1	16.8	13.6
16	N	Übergang	20	17.2	17.4	15.0	17.3	14.8	16.4	15.2
17	W	Übergang	5	13.4	13.3	10.9	17.4	15.5	13.7	9.0
17	W	Übergang	10	13.2	12.9	10.8	16.4	14.2	15.4	10.9
17	W	Übergang	20	14.0	13.2	11.2	14.7	14.2	15.5	11.5
18	S	Übergang	5	12.3	13.1	8.9	20.0	14.7	12.1	9.0
18	S	Übergang	10	10.8	12.0	7.1	19.0	13.5	13.9	10.1
18	S	Übergang	20	11.8	11.8	7.8	17.8	13.2	14.3	10.4
19	SO	Übergang	5	20.8	21.7	17.6	21.0	19.4	19.1	18.2
19	SO	Übergang	10	19.1	21.0	17.4	21.6	15.7	18.0	16.3
19	SO	Übergang	20	14.5	18.0	15.4	16.9	15.5	15.0	14.4
20	S	Übergang	5	12.5	11.9	7.9	18.9	15.6	12.9	9.6
20	S	Übergang	10	12.3	13.0	10.2	18.3	15.0	14.3	9.9
20	S	Übergang	20	13.2	13.8	10.8	17.8	15.5	15.5	10.9
21	O	Übergang	5	16.2	20.2	15.4	19.2	17.9	18.2	13.6
21	O	Übergang	10	15.0	18.3	13.5	19.1	16.5	17.0	13.4
21	O	Übergang	20	14.5	16.3	12.8	17.1	15.6	16.4	13.5
22	N	Übergang	5	17.6	18.5	16.0	20.5	18.3	19.1	15.5
22	N	Übergang	10	17.6	18.7	16.3	20.3	17.8	18.8	16.8
22	N	Übergang	20	16.9	17.2	16.1	19.4	16.4	18.2	16.5
23	NW	Übergang	5	22.4	21.4	18.7	19.8	19.5	19.4	15.6
23	NW	Übergang	10	19.9	18.4	18.9	18.1	16.5	19.1	17.8
23	NW	Übergang	20	15.8	17.8	17.9	17.4	15.8	16.2	14.5
24	N	Übergang	5	16.1	17.4	14.5	19.1	16.4	17.4	13.9
24	N	Übergang	10	15.8	17.1	14.5	17.2	15.8	17.6	14.8
24	N	Übergang	20	16.9	16.3	14.4	17.1	15.0	17.2	14.9

Tabelle 4.11: Statistische Auswertung der Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo Biberbrugg

	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]						
		15.09.2011	21.10.2011	28.11.2011	15.12.2011	25.01.2011	23.02.2012	30.03.2012
Anzahl	5	24	24	24	24	24	24	24
Mittelwert		16.1	16.5	13.3	19.2	16.5	15.4	12.4
MIN		10.6	10.3	7.4	15.9	12.3	11.8	7.9
MAX		25.4	21.8	18.8	24.6	19.6	19.4	18.2
Standardabweichung		4.15	3.90	3.76	1.80	1.97	2.78	2.80
Variationskoeffizient		25.9%	23.6%	28.2%	9.4%	11.9%	18.0%	22.6%
Anzahl	10	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Mittelwert		15.5	16.0	13.4	18.0	15.5	15.9	13.3
MIN		10.8	10.5	7.1	13.1	12.7	12.3	9.9
MAX		24.5	21.2	19.0	21.6	17.8	19.2	17.8
Standardabweichung		3.61	3.36	3.42	1.98	1.39	1.97	2.37
Variationskoeffizient		23.3%	21.0%	25.4%	11.0%	9.0%	12.4%	17.9%
Anzahl	20	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
Mittelwert		14.9	15.6	13.6	16.8	15.1	16.1	13.5
MIN		11.4	10.6	7.4	12.8	13.0	13.5	10.4
MAX		18.5	20.9	18.5	19.4	17.7	19.4	17.5
Standardabweichung		1.91	2.56	2.97	1.77	1.02	1.31	1.96
Variationskoeffizient		12.8%	16.4%	21.9%	10.5%	6.7%	8.2%	14.5%

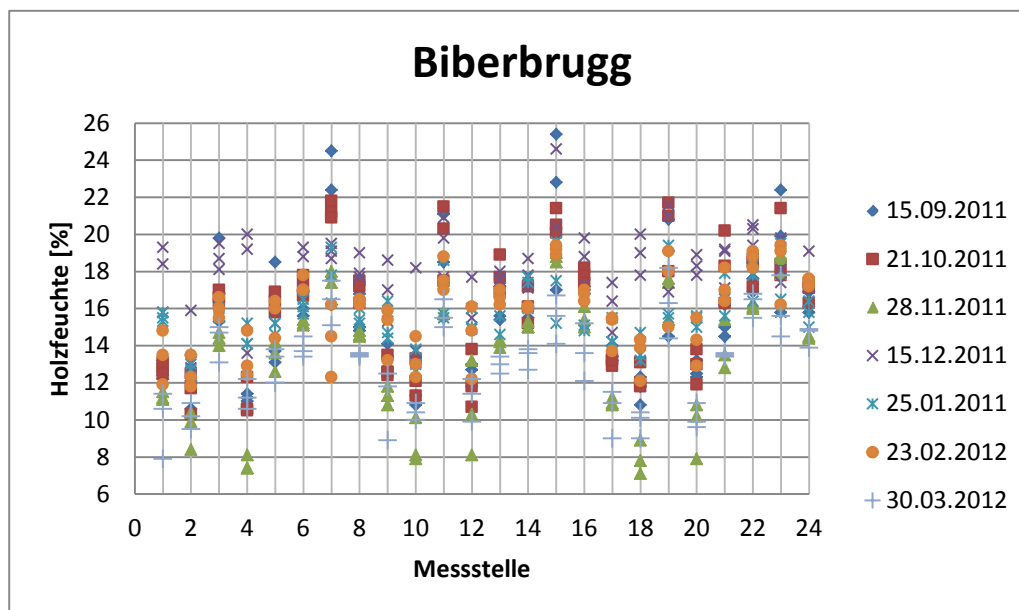


Abbildung 4.2.5: Holzfeuchte Salzsilo Biberbrugg

Mit dem Bollmann-Holzfeuchte-Messgerät manuell erfasste Holzfeuchtemesswerte zu verschiedenen Zeitpunkten in unterschiedlichen Tiefen, Expositionen und Silobereichen gemäss vorangehender Tabelle.

Tabelle 4.12: Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo in Aeugst am Albis

Messstelle	Exposition	Höhenlage	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]						
				15.09.2011	21.10.2011	28.11.2011	15.12.2011	25.01.2012	23.02.2012	30.03.2012
1	SO	oben	5	9.9	13.6	11.7	13.7	16.3	10.3	16.9
1	SO	oben	10	11.4	14.6	11.9	12.7	15.6	12.8	11.8
1	SO	oben	15	13.0	15.6	12.2	11.9	15.3	12.9	15.4
2	NO	oben	5	13.2	16.2	18.5	15.8	19.7	17.1	10.4
2	NO	oben	10	14.0	16.8	18.0	15.3	17.4	17.5	11.6
2	NO	oben	15	13.2	16.5	17.5	14.1	16.0	17.0	12.4
3	NW	oben	5	16.1	18.9	19.7	17.9	18.4	17.5	12.4
3	NW	oben	10	17.1	18.9	19.8	15.6	18.6	18.3	14.5
3	NW	oben	15	18.4	17.9	19.0	14.7	17.1	18.3	15.2
4	SW	oben	5	13.0	13.8	14.4	16.4	16.9	13.2	9.5
4	SW	oben	10	13.3	14.3	14.3	15.3	15.5	15.1	12.7
4	SW	oben	15	13.1	15.1	14.5	14.0	16.8	15.4	13.5
5	SO	Mitte	5	10.8	13.2	13.1	13.5	16.9	11.8	10.5
5	SO	Mitte	10	11.2	14.2	12.6	12.0	15.4	13.3	12.2
5	SO	Mitte	15	11.7	14.5	12.4	11.1	13.2	13.7	14.3
6	NO	Mitte	5	13.3	15.9	17.6	15.7	17.2	16.8	11.9
6	NO	Mitte	10	13.8	16.2	17.3	15.6	15.3	17.2	12.7
6	NO	Mitte	15	14.0	15.8	16.5	14.4	14.8	15.6	13.2
7	NW	Mitte	5	16.3	21.1	19.4	16.5	19.2	18.6	14.0
7	NW	Mitte	10	17.0	20.6	20.4	17.9	18.3	19.1	15.0
7	NW	Mitte	15	17.1	18.4	19.2	17.8	17.5	18.4	15.3
8	SW	Mitte	5	13.2	16.5	16.1	15.8	17.8	15.7	11.2
8	SW	Mitte	10	14.2	17.3	16.0	15.7	16.1	16.4	12.9
8	SW	Mitte	15	14.8	18.0	15.9	14.8	16.6	16.7	13.5
9	SO	Übergang	5	12.0	14.5	14.8	14.5	16.4	13.3	10.5
9	SO	Übergang	10	12.5	15.7	15.4	13.9	15.5	15.7	11.5
9	SO	Übergang	15	13.2	16.0	15.5	13.7	15.0	16.2	13.2
10	NO	Übergang	5	14.0	17.8	19.0	16.1	18.5	16.8	10.9
10	NO	Übergang	10	14.4	18.1	18.8	16.1	17.9	17.0	11.6
10	NO	Übergang	15	14.1	17.7	18.4	15.8	17.5	16.7	11.8
11	NW	Übergang	5	16.6	20.2	19.0	18.7	18.3	18.2	12.4
11	NW	Übergang	10	16.9	20.2	19.9	16.5	17.7	18.7	13.4
11	NW	Übergang	15	16.4	20.0	19.5	15.9	16.8	18.0	13.6
12	SW	Übergang	5	15.7	17.7	18.8	16.4	18.8	17.5	11.8
12	SW	Übergang	10	15.1	18.2	18.2	16.0	16.9	17.5	12.9
12	SW	Übergang	15	16.2	18.5	18.7	15.1	17.6	17.8	13.0

Tabelle 4.13: Statistische Auswertung der Holzfeuchtemesswerte am Salzsilo Aeugst am Albis

	Messtiefe [mm]	Holzfeuchte [%]						
		15.09.2011	21.10.2011	28.11.2011	15.12.2011	25.01.2012	23.02.2012	30.03.2012
Anzahl	5	12	12	12	12	12	12	12
Mittelwert		13.7	16.6	16.8	15.9	17.9	15.6	11.9
MIN		9.9	13.2	11.7	13.5	16.3	10.3	9.5
MAX		16.6	21.1	19.7	18.7	19.7	18.6	16.9
Standardabweichung		2.17	2.60	2.74	1.52	1.12	2.73	1.98
Variationskoeffizient		15.9%	15.7%	16.2%	9.5%	6.3%	17.5%	16.7%
Anzahl	10	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Mittelwert		14.2	17.1	16.9	15.2	16.7	16.6	12.7
MIN		11.2	14.2	11.9	12.0	15.3	12.8	11.5
MAX		17.1	20.6	20.4	17.9	18.6	19.1	15.0
Standardabweichung		2.03	2.19	2.85	1.63	1.25	2.00	1.13
Variationskoeffizient		14.2%	12.8%	16.9%	10.7%	7.5%	12.1%	8.9%
Anzahl	15	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Mittelwert		14.6	17.0	16.6	14.4	16.2	16.4	13.7
MIN		11.7	14.5	12.2	11.1	13.2	12.9	11.8
MAX		18.4	20.0	19.5	17.8	17.6	18.4	15.4
Standardabweichung		2.01	1.65	2.57	1.77	1.36	1.76	1.15
Variationskoeffizient		13.7%	9.7%	15.5%	12.2%	8.4%	10.7%	8.4%

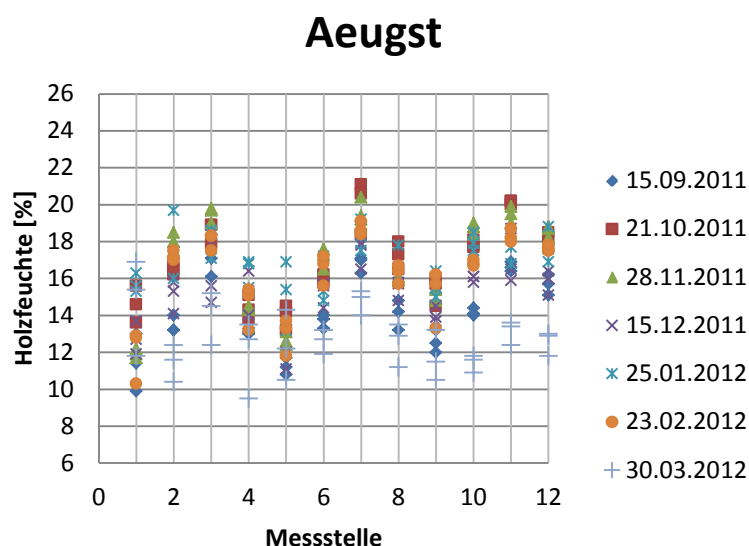


Abbildung 4.2.6: Holzfeuchte Salzsilo Aeugst

Mit dem Bollmann-Holzfeuchte-Messgerät manuell erfasste Holzfeuchtemesswerte zu verschiedenen Zeitpunkten in unterschiedlichen Tiefen, Expositionen und Silobereichen gemäss vorangehender Tabelle.

Tabelle 4.14: Summarische Auswertung der periodischen Holzfeuchtemessungen an den Silos

Datum Messung	Standort	Holzfeuchtigkeit [%]											
		Tiefe = 5mm				Tiefe = 10mm				Tiefe = 0.5*Plattendicke			
		min	max	n	n>20%	min	max	n	n>20%	min	max	n	n>20%
15.07.2011	Urdorf	12.0	15.8	12	0	12.8	15.0	12	0	12.6	15.4	12	0
15.09.2011		12.3	15.1		0	12.9	16.1		0	13.2	16.4		0
28.11.2011		13.6	19.4		0	15.0	18.7		0	15.5	18.0		0
23.02.2011		13.8	18.5		0	16.1	18.9		0	15.8	18.2		0
15.09.2011	Wollerau	11.8	24.4	18	4	11.4	17.8	18	0	12.0	17.5	18	0
21.10.2011		13.2	23.5		6	14.4	23.6		4	13.9	18.9		0
28.11.2011		8.8	20.0		0	10.0	20.4		2	10.1	20.6		1
15.12.2011		15.4	22.1		4	14.6	22.2		2	13.5	22.0		1
25.01.2012		14.6	20.0		0	14.2	19.3		0	13.7	18.9		0
23.02.2012		12.2	21.0		1	13.0	21.6		1	13.9	20.1		1
30.03.2012		7.4	17.8		0	8.5	16.4		0	10.5	15.8		0
15.09.2011	Pfäffikon SZ	11.0	15.6	15	0	10.3	15.1	15	0	10.6	16.0	15	0
21.10.2011		14.8	19.4		0	13.2	17.1		0	12.4	16.1		0
28.11.2011		10.1	18.7		0	10.3	17.1		0	11.2	15.3		0
15.12.2011		12.0	16.8		0	12.2	15.9		0	11.8	15.3		0
25.01.2012		11.5	16.6		0	12.3	15.6		0	12.7	16.5		0
23.02.2012		11.0	18.8		0	12.6	18.0		0	13.4	17.4		0
30.03.2012		7.5	13.1		0	10.0	14.4		0	10.6	15.2		0
15.09.2011	Neuheim	12.5	15.8	12	0	12.4	15.5	12	0	12.0	16.5	12	0
21.10.2011		14.5	18.8		0	14.3	18.3		0	13.8	17.5		0
28.11.2011		12.5	19.3		0	12.8	18.5		0	12.5	17.6		0
15.12.2011		17.1	20.4		2	15.9	20.1		1	14.2	19.0		0
25.01.2012		16.9	19.7		0	16.2	18.7		0	15.5	18.0		0
23.02.2012		13.0	18.2		0	15.4	19.4		0	15.8	19.2		0
30.03.2012		8.0	13.0		0	10.7	14.4		0	11.2	15.7		0
15.09.2011	Biberbrugg	10.6	25.4	24	5	10.8	24.5	24	2	11.4	18.5	24	0
21.10.2011		10.3	21.8		6	10.5	21.2		4	10.6	20.9		2
28.11.2011		7.4	18.8		0	7.1	19.0		0	7.4	18.5		0
15.12.2011		15.9	24.6		4	13.1	21.6		3	12.8	19.4		0
25.01.2012		12.3	19.6		0	12.7	17.8		0	13.0	17.7		0
23.02.2012		11.8	19.4		0	12.3	19.2		0	13.5	19.4		0
30.03.2012		7.9	18.2		0	9.9	17.8		0	10.4	17.5		0
15.09.2011	Aeugst a. A.	9.9	16.6	12	0	11.2	17.1	12	0	11.7	18.4	12	0
21.10.2011		13.2	21.1		2	14.2	20.6		2	14.5	20.0		0
28.11.2011		11.7	19.7		0	11.9	20.4		1	12.2	19.5		0
15.12.2011		13.5	18.7		0	12.0	17.9		0	11.1	17.8		0
25.01.2012		16.3	19.7		0	15.3	18.6		0	13.2	17.6		0
23.02.2012		10.3	18.6		0	12.8	19.1		0	12.9	18.4		0
30.03.2012		9.5	16.9		0	11.5	15.0		0	11.8	15.4		0

5 Beurteilung

Die kontinuierlichen Holzfeuchtemessungen an den Massivholzplatten am Salzsilo in Urdorf in der Zeit vom 15.07.2011 bis 15.08.2012 mit der Hygro-Trac-Messanlage haben gezeigt, dass die Messwerte kurzfristig über die 20%-Grenze ansteigen. Allerdings wurde auch festgestellt, dass die Messwerte nach kurzer Zeit wieder unter die 20%-Grenze fallen und kein Aufschaukeln der Holzfeuchte stattfindet.

Die periodischen Feuchtemessungen mit dem Bollmann-Holzfeuchte-Messgerät ergaben, dass die sich einstellenden Messwerte von der Art der Silo-Konstruktion, von der Beschattung und auch vom Silo-Standort abhängig sind. Ausserdem sind bei periodischen Messungen die Messwerte abhängig vom Zeitpunkt der jeweiligen Messung im Tagesverlauf (Morgen, Mittag, Abend) (*Tabelle 4.14*).

Übereinstimmend mit den kontinuierlichen Feuchtmessungen zeigen auch die periodischen, dass vereinzelt zumindest zeitweise mit Holzfeuchtwerten >20% zu rechnen ist. Ein Aufschaukeln der Feuchtwerte wurde an keiner Messstelle festgestellt.

5.1 Empfehlung

Für die Herstellung der Salzsilos sind nur Massivholzplatten einzusetzen, die mit einem Klebstoff des Typs I nach SN EN 301 verklebt sind und deren Querschnittsaufbau (Lagenanzahl und -dicken, Schnittart der Lagen) und Holzart sich als dauerhaft bewährt haben. Die Platten müssen ausserdem die Anforderung der SN EN 13353 erfüllen. Bei der Bemessung der Silos sind die entsprechenden Festigkeits- und Steifigkeitsreduktionen (inkl. Kriechen) für Feuchtekategorie 3 nach Norm SIA 265/1: 2009 *Holzbau – Ergänzende Festlegungen* anzusetzen. Bereits bei der Planung ist die Bauherrschaft darauf hinzuweisen, dass die langjährige Nutzungsdauer nur mit regelmässiger Überwachung bestehend aus Beobachtungen, Inspektionen und Kontrollmessungen und mit einer Instandhaltung bzw. allenfalls notwendigen Instandsetzung gewährleistet werden kann. Als Voraussetzung dafür sind für jedes Objekt je ein spezifischer Überwachungsplan und ein Unterhaltsplan zu erstellen. Angaben zu sämtlichen erwähnten Massnahmen und Planungsmitteln sind in den Normen SIA 260:2003 *Grundlagen der Projektierung von Tragwerken* und SIA 269:2011 *Grundlagen der Erhaltung von Tragwerken*, SIA 269/5:2011 *Erhaltung von Tragwerken – Holzbau* und SIA 469:1997 *Erhaltung von Bauwerken* zu finden.

Beilage 1: Prüfprogramm



Univ.-Prof. Dr.-Ing. H.J. Blaß

Prüfingenieur für Baustatik VPI

Dipl.-Ing. O. Eberhart

Prüfprogramm Holzfeuchtemessungen an Silokonstruktionen

Vorgehensweise:

1. Kalibrierung des Holzfeuchtemessgerätes der Fa. Blumer-Lehmann AG für manuelle Holzfeuchtemessungen an Silokonstruktionen in Abstimmung mit der EMPA
2. Monitoring Silokonstruktion Urdorf: Ausstattung der Silokonstruktion Urdorf mit einem drahtlosen Sensornetzwerk oder einer vergleichbaren Messeinrichtung zur kontinuierlichen Überwachung der klimatischen Verhältnisse und der Holzfeuchte
 - Durchführung: Fa. Schilliger Holz AG
 - Anzahl der Messsensoren an der Silokonstruktion Urdorf: 12
 - Verteilung der Messsensoren: siehe Anlage (Messsensoren auch gezielt im Bereich von Fugen und Stößen anordnen, um eventuelle Kapillarwirkungen zu erfassen)
 - Messintervalle: die elektronische Datenerfassung erlaubt ein stündliches Messintervall
 - vor der Installation des drahtlosen Sensornetzwerks an der Silokonstruktion Urdorf sollte eine stichprobenartige Überprüfung des Systems im Labor der EMPA erfolgen
 - manuelle Kontrollmessungen während der Dauer der elektronischen Datenerfassung werden empfohlen (einmal im Quartal durch EMPA)
 - Auswertung: Angabe der klimatischen Verhältnisse und des Holzfeuchtegehaltes (Himmelsrichtung des jeweiligen Messensors im Protokoll vermerken)
 - Dauer der Messungen: mindestens ein Jahr (05/2011 – 05/2012)
3. stichprobenartige manuelle Holzfeuchtemessungen an fünf verschiedenen Silokonstruktionen (Standorte ca. 300 m.ü.NN):
 - Durchführung: Fa. Blumer-Lehmann AG, EMPA
 - Anzahl der Messpunkte pro Silokonstruktion: siehe Anlage
 - Verteilung der Messpunkte: siehe Anlage (Messpunkte auch gezielt im Bereich von Fugen und Stößen anordnen, um eventuelle Kapillarwirkungen zu erfassen)
 - Messintervalle: einmal monatlich
 - manuelle Messungen der Holzfeuchte sollten nicht bei Regen erfolgen
 - Durchführung der Messungen: 1. und 2. Monat des Quartals durch Blumer-Lehmann AG, 3. Monat im Quartal durch EMPA
 - die erste Messung an allen fünf Silokonstruktionen sollte gemeinsam von der Fa. Blumer-Lehmann AG und der EMPA durchgeführt werden

Volksbank Stutensee Hardt eG

BLZ 660 610 59

Konto 14335501

UST-IdNr. DE186772982

Pforzheimer Straße 15b

76227 Karlsruhe

Telefon (0721) 46 47 19-0

Telefax (0721) 46 47 19-29

Blaß & Eberhart

Seite 2

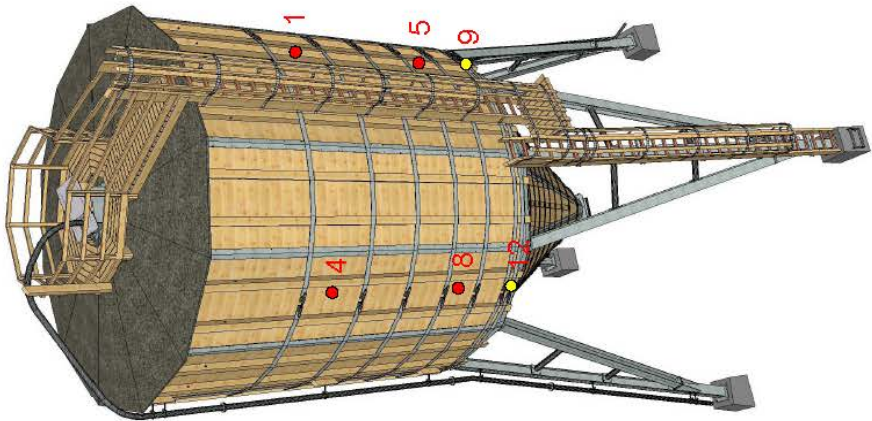
- Auswertung: Angabe der klimatischen Verhältnisse und des Holzfeuchtegehaltes (Himmelsrichtung des jeweiligen Messpunktes im Protokoll vermerken)
 - Dauer der Messungen: mindestens ein Jahr (05/2011 – 05/2012)
4. abschließende Beurteilung der Holzfeuchtemessungen an Silokonstruktionen:
Prüfbericht mit Zusammenfassung aller Daten und Beurteilung durch EMPA

Beilage 2: Zeichnungen der Salzsilos mit eingetragenen Messstellen

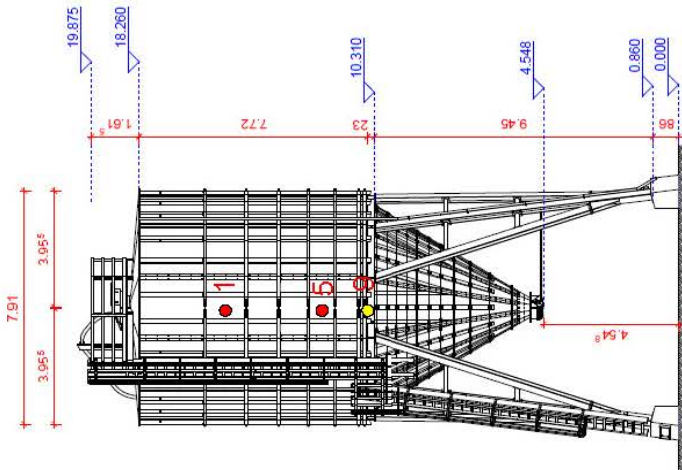
Silokonstruktion Urdorf (1x400m³)

kontinuierliche Überwachung der Holzfeuchte und der klimatischen Verhältnisse mit einem drahtlosen Sensornetzwerk o.ä.

- 2 Messensoren pro Seite / Himmelsrichtung an der vertikalen Silowand (insgesamt 8 Messensoren)
- zusätzlich 1 Messensor pro Seite / Himmelsrichtung am Übergang von Trichter zur vertikalen Silowand im Bereich ohne Salz (insgesamt 4 Messensoren)

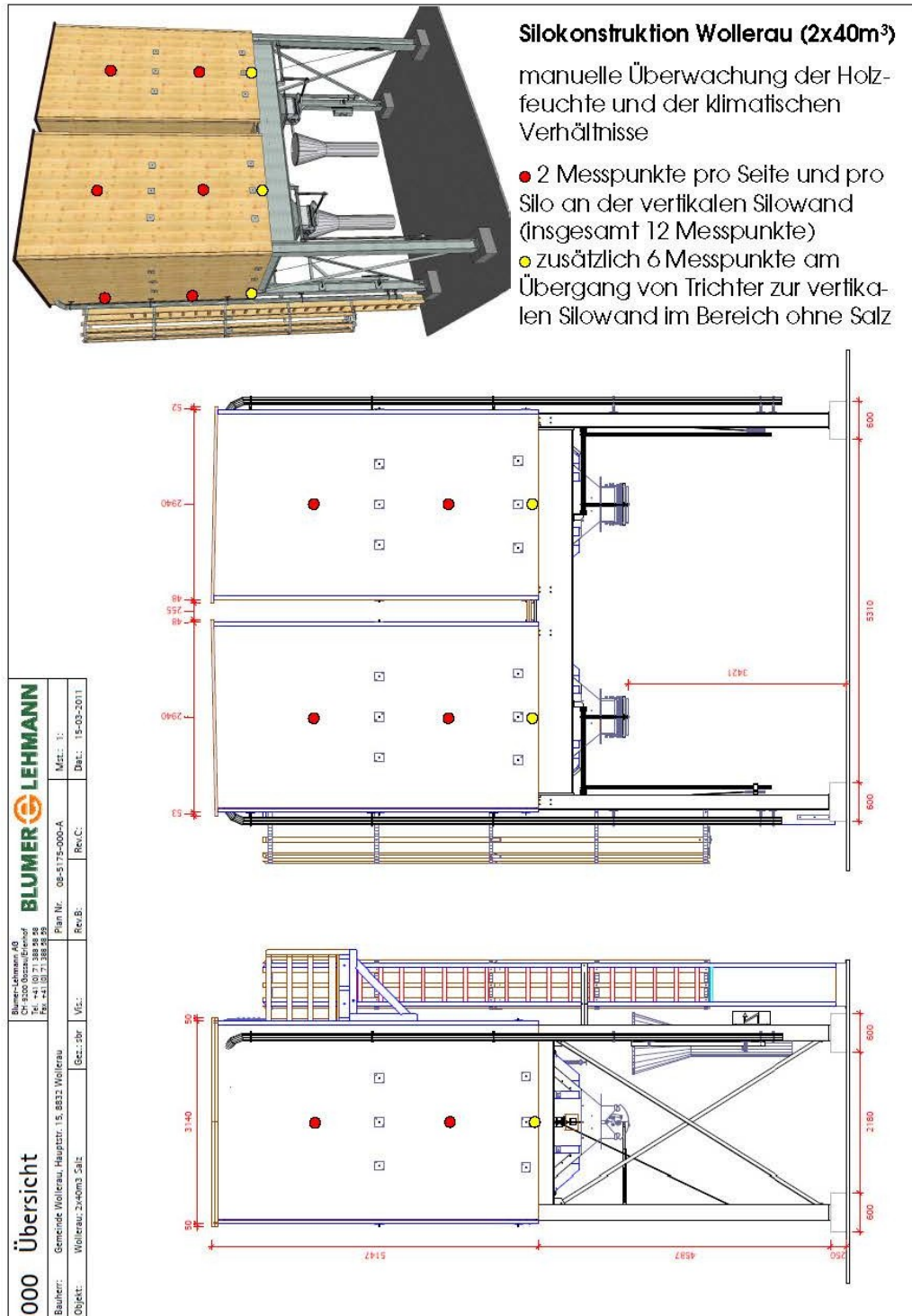


003 Seitenansicht	BLUMER & LEHMANN		
	CH-8200 Birmensdorf Tel. +41 (0) 71 388 82 50 Fax +41 (0) 71 388 82 59		
	Plan Nr. 07-5108-003-A		
	Rev. B:		
Bauherr:	Baufirma: M. Züchli, Stampfenbachstr. 14, 8090 Zürich		
Objekt:	Neubau Silozelle 400m³ Urdorf		
Gezeichnet:	wvl		
Mas.:	1:150		
Datum:	06-03-2007		





Silokonstruktion Urdorf (1x400m³)

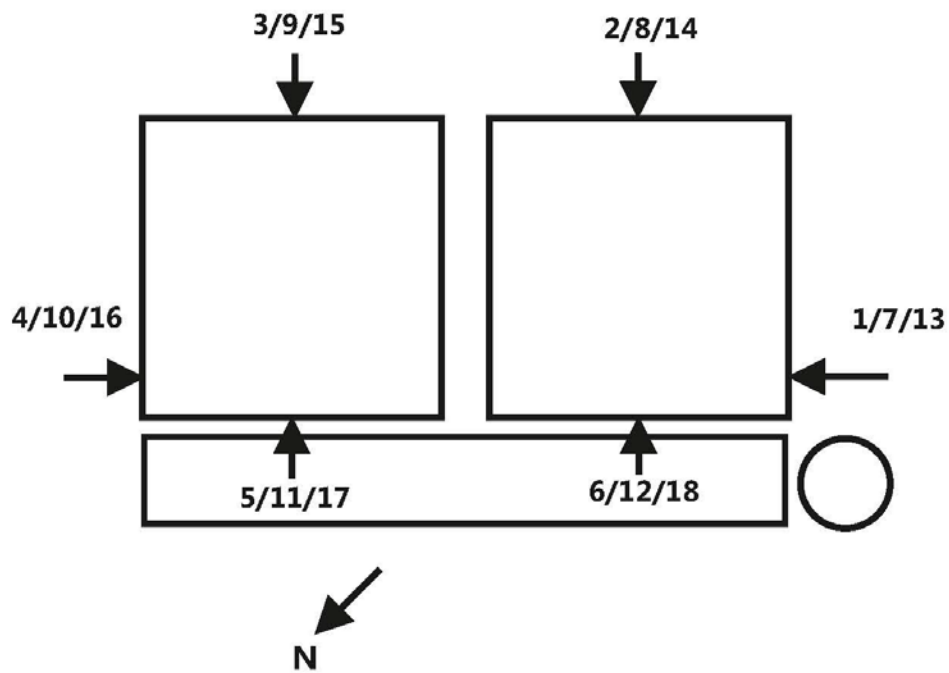


Blaß & Eberhart

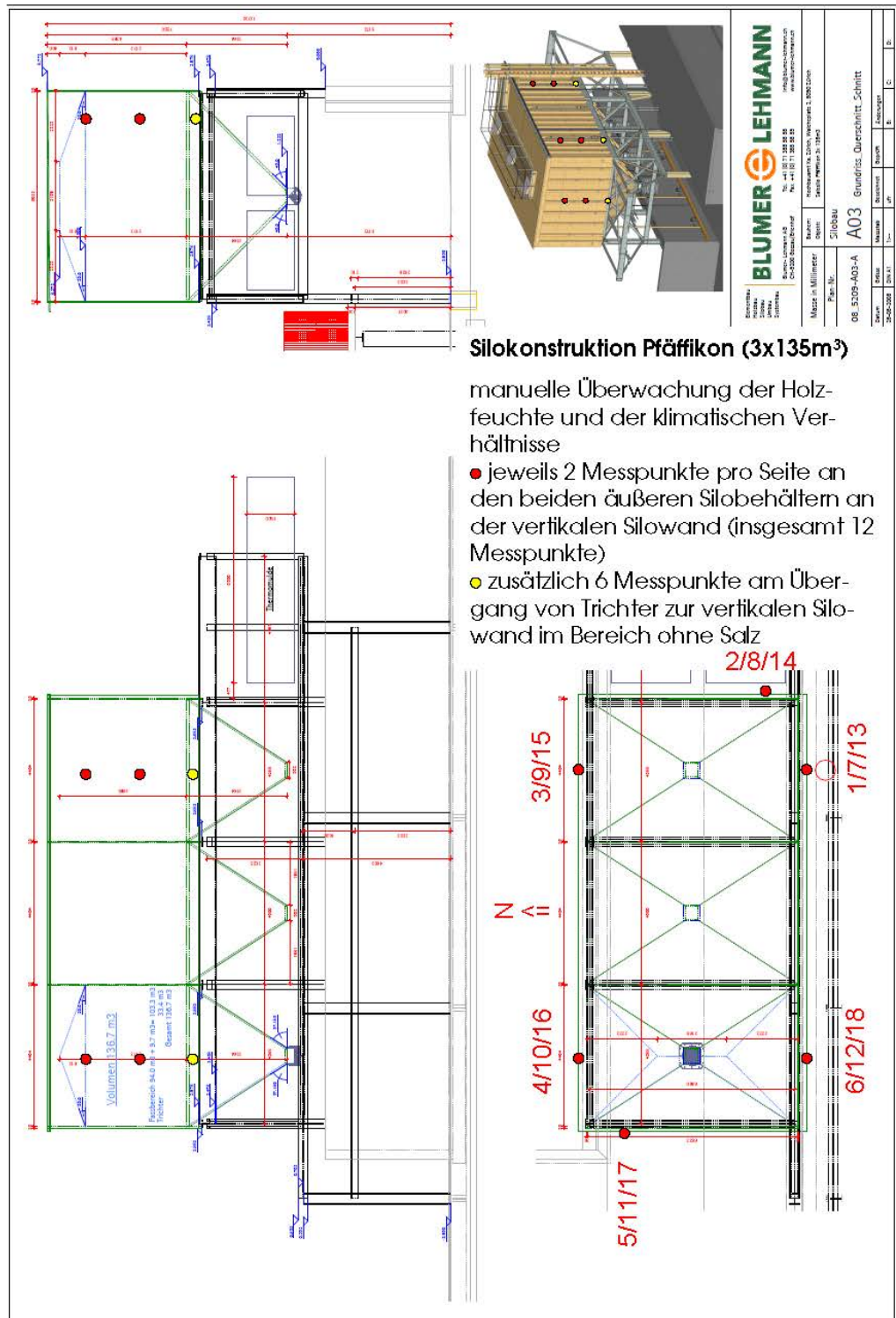
Seite 6



Silokonstruktion Wollerau (2x40m³)

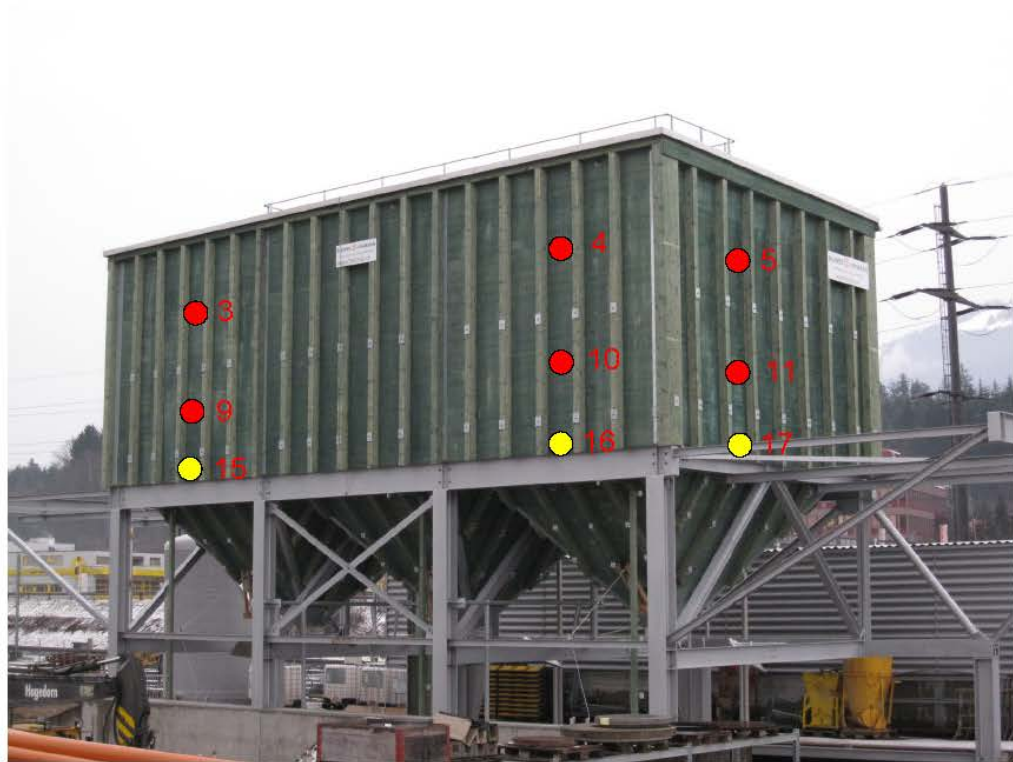


Schematischer Grundriss Silostruktur Wollerau mit Nummerierung der Messstellen

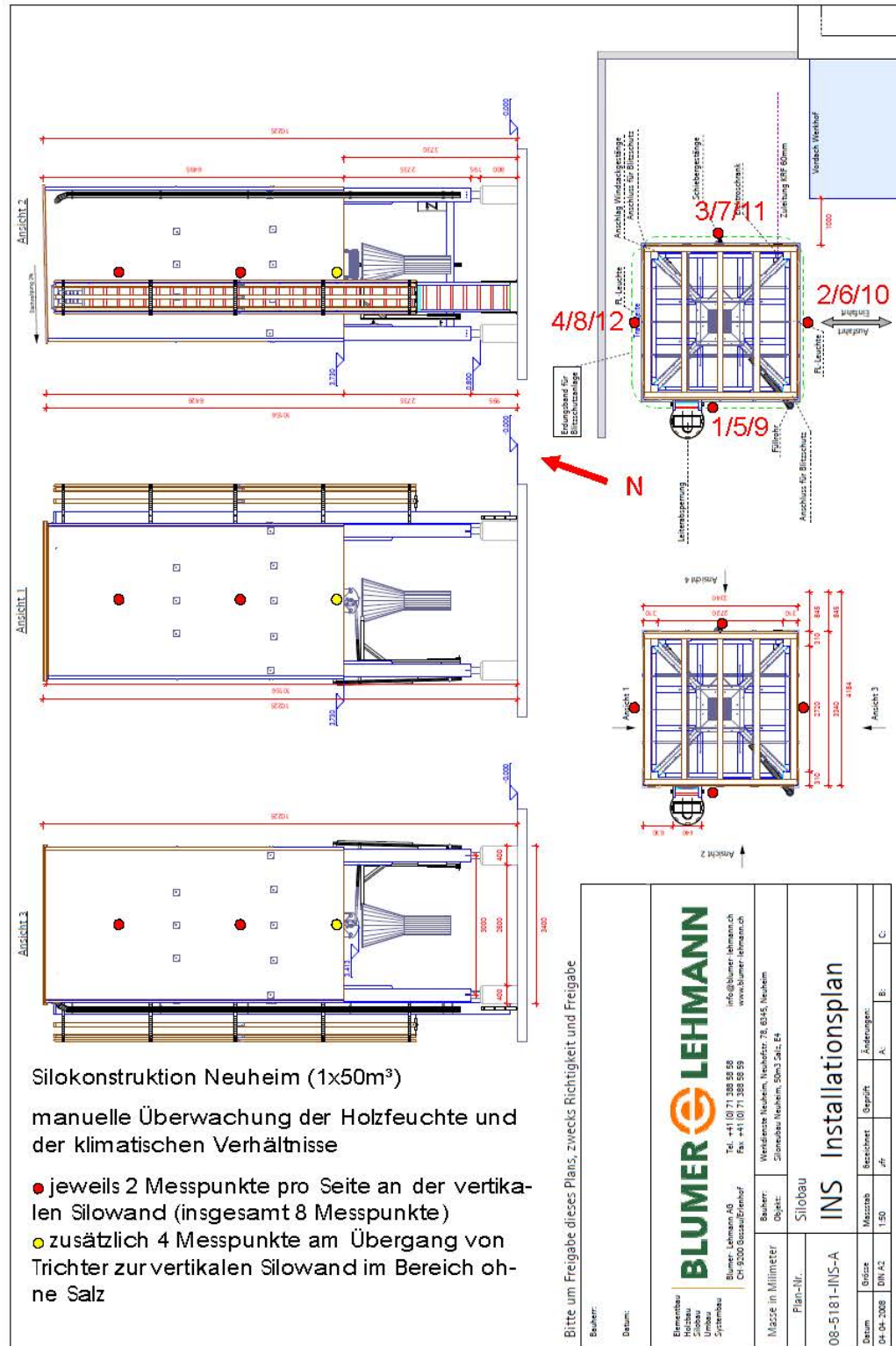


Blaß & Eberhart

Seite 8

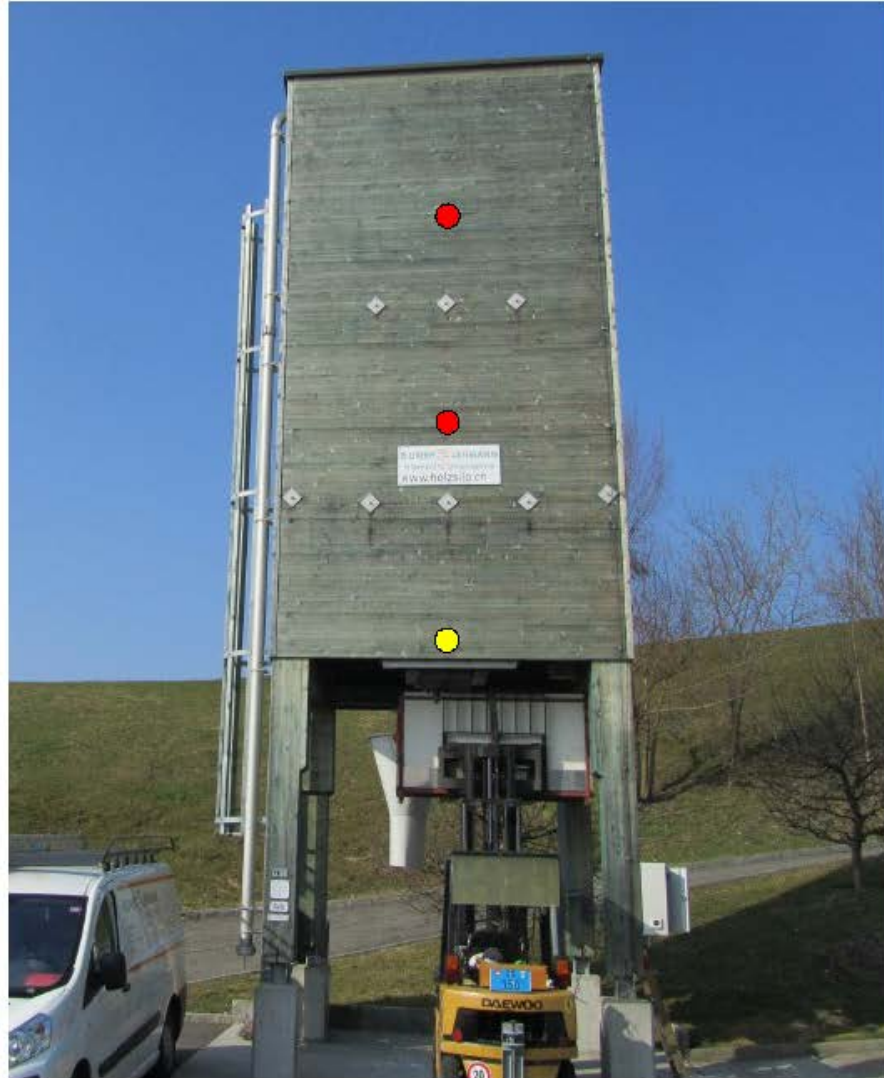


Silokonstruktion Pfäffikon (3x135m³)



Blaß & Eberhart

Seite 10



Silokonstruktion Neuheim (1x50m³)

Blaß & Eberhart

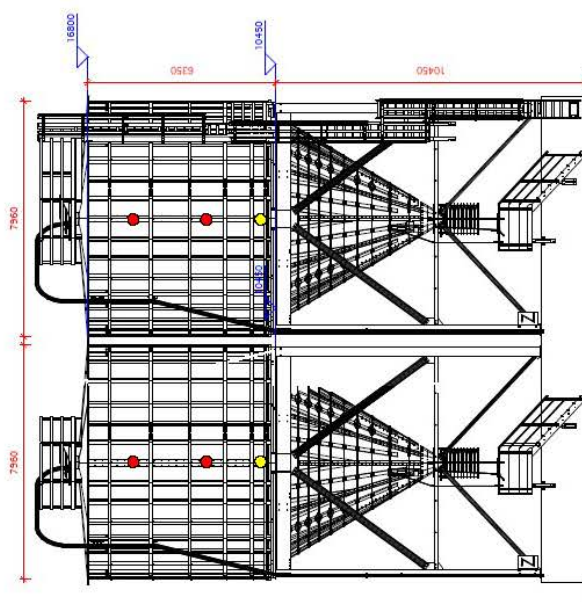
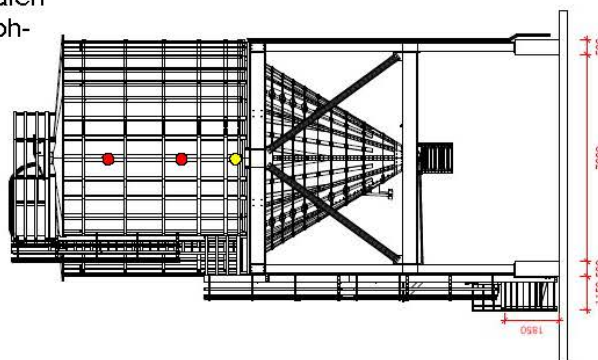
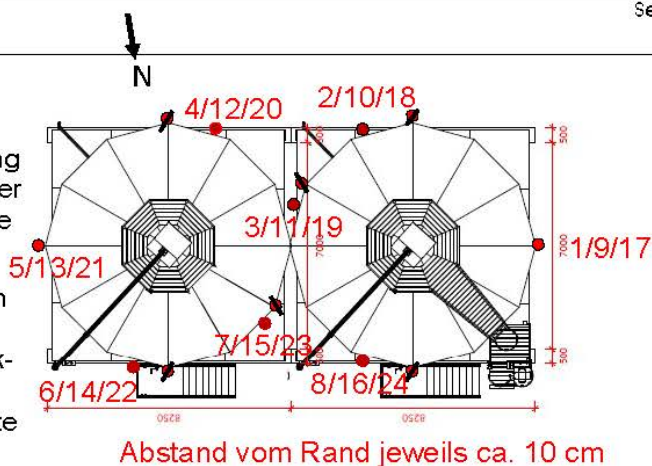
Seite 11

Silokonstruktion Biberbrugg (2x300m³)

manuelle Überwachung der Holzfeuchte und der klimatischen Verhältnisse

● jeweils 2 Messpunkte pro Seite und pro Silo an der vertikalen Silowand (insgesamt 16 Messpunkte)

● zusätzlich 4 Messpunkte pro Silo am Übergang von Trichter zur vertikalen Silowand im Bereich ohne Salz (insgesamt 8 Messpunkte)



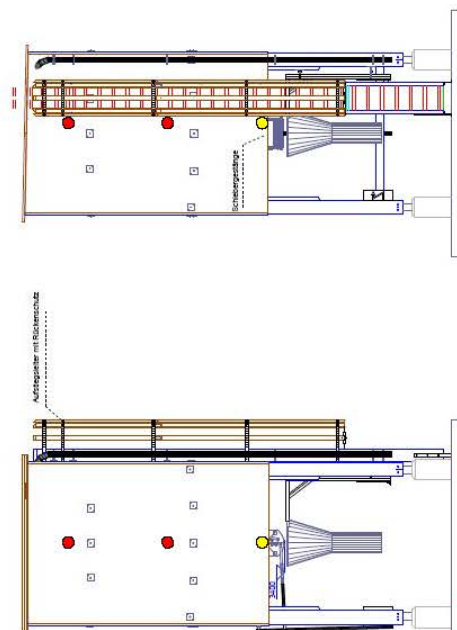
011 Übersicht	BLUMER + LEHMANN Blumer + Lehmann AG CH-8600 Basigliostrasse 2 Tel. +41 (0) 71 388 98 98 Fax +41 (0) 71 388 98 99			Mst.: 1:	Dat.: 16-03-2011
	Bauherr: Flughafen Zürich AG, ...	Plan Nr.: 10-100 75-011-A	Rev.C:	Rev.B:	
Objekt: Biberbrugg 2x300m³	Get.: jbr	Vst.:			

Blaß & Eberhart

Seite 12



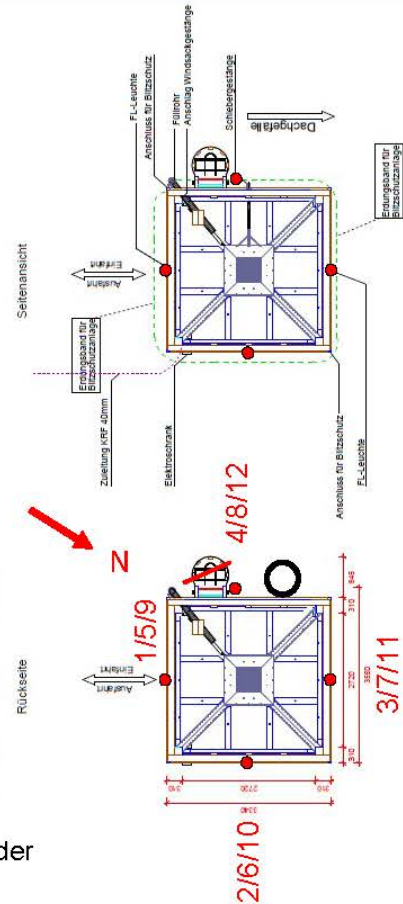
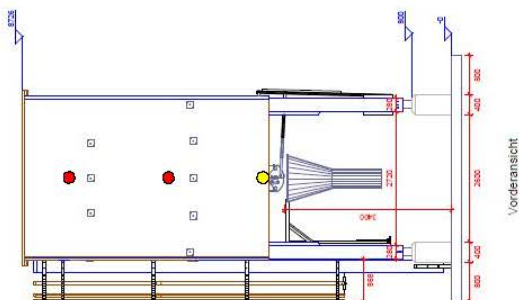
Silokonstruktion Biberbrugg (2x300m³)



Silokonstruktion Aeugst am Albis (1x40m³)

manuelle Überwachung der Holzfeuchte und der klimatischen Verhältnisse

- jeweils 2 Messpunkte pro Seite an der vertikalen Silowand (insgesamt 8 Messpunkte)
- zusätzlich 4 Messpunkte am Übergang von Trichter zur vertikalen Silowand im Bereich ohne Salz



Bitte um Freigabe dieses Plans, zwecks Richtigkeit und Freigabe

Bauherr:	 BLUMER LEHMANN Elementbau Ziegelbau Umlaufbau Systembau Bürostr. 1 441 0171, 358 58 58 info@blumer-lehmann.ch www.blumer-lehmann.ch									
Datum:	Teli: +41 (0) 71 358 58 58 Fax: +41 (0) 71 358 58 59 CH-2500 Gossau-Erlenhof Ausgeführt am: Abbis									
Masse in Millimeter		Blauer:		Objekt:		Sillobau		Anmerkungen:		
Plan-Nr.		10-100322-INS-A INS Installationsplan								
Datum	Grosse	DIN A2	Massestab	Gezeichnet	Geprüft	A:	B:	C:		
25-06-2010			1:50	tor						



Silokonstruktion Aeugst am Albis (1x40m³)