

Überprüfung der Durchflussmessungen in der LMT-Group Schwarzenbek

Plenum Ingenieurgesellschaft für Planung Energie Umwelt m.b.H.

Rantzaustraße 32, 22041 Hamburg, Tel. 040 687664, Fax 040 682122

energie@plenuming.de

4. Februar 2016



PLENUM

Inhaltsverzeichnis

1	Motivation der Überprüfung	3
2	Vorgehen	4
2.1	Kurzzeitmessungen	4
2.2	Langzeitmessungen	4
3	Messergebnisse	5
3.1	Einspeisung Verwaltung	5
3.2	Einspeisung Halle 6	5
3.3	Einspeisung Kompressoren	6
3.4	Verwaltung nach Halle 2	6
3.5	Verwaltung nach Halle 5	7
3.6	Halle 2 nach Halle 7	9
3.7	Halle 6 nach Halle 7	11
3.8	Halle 6 nach Halle 8	11
3.9	Halle 7 nach Halle 3	12
3.10	Halle 2A	13
3.11	Halle 6 nach EDV	14
3.12	Halle 4	15
3.13	Lüftungsgerät Halle 1	16
3.14	Halle 5	17
3.15	Übersicht der Korrekturfaktoren	18
4	Mögliche Ursachen	18
5	Empfehlungen	19

1 Motivation der Überprüfung

Bei Analysen der Durchflussmessungen ergeben sich Unstimmigkeiten welche sich am plausibelsten durch fehlerhafte Durchflussmessungen erklären lassen. Beispiele sind der Durchfluss in Halle 5, der den Durchfluss- und Temperaturmessungen zufolge zeitweilig negativ ist. Der Temperaturverlauf zeigt dabei keinerlei Auffälligkeiten, lediglich der Durchfluss wird zeitweilig negativ gemessen und führt damit zu einer errechneten Einspeisung was bei den Verbrauchern in Halle 5 jedoch ausgeschlossen werden kann. Dieser Sachverhalt ist exemplarisch in Abbildung 1.1 dargestellt. Hinzu kommt, dass die Vorlauftemperatur bei einer Flussumkehr zur Rücklauftemperatur wird und somit einbrechen müsste. Dies ist nicht zu erkennen. Außerdem wird auf dem Verteiler im gesamten gezeigten Zeitraum ein positiver Differenzdruck gemessen.

Diese Beobachtung rechtfertigt die Annahme, das mindestens einen Offset-Fehler in der Volumenstrommessung des Abgangs Halle 5 von der Ringleitung vorliegt.

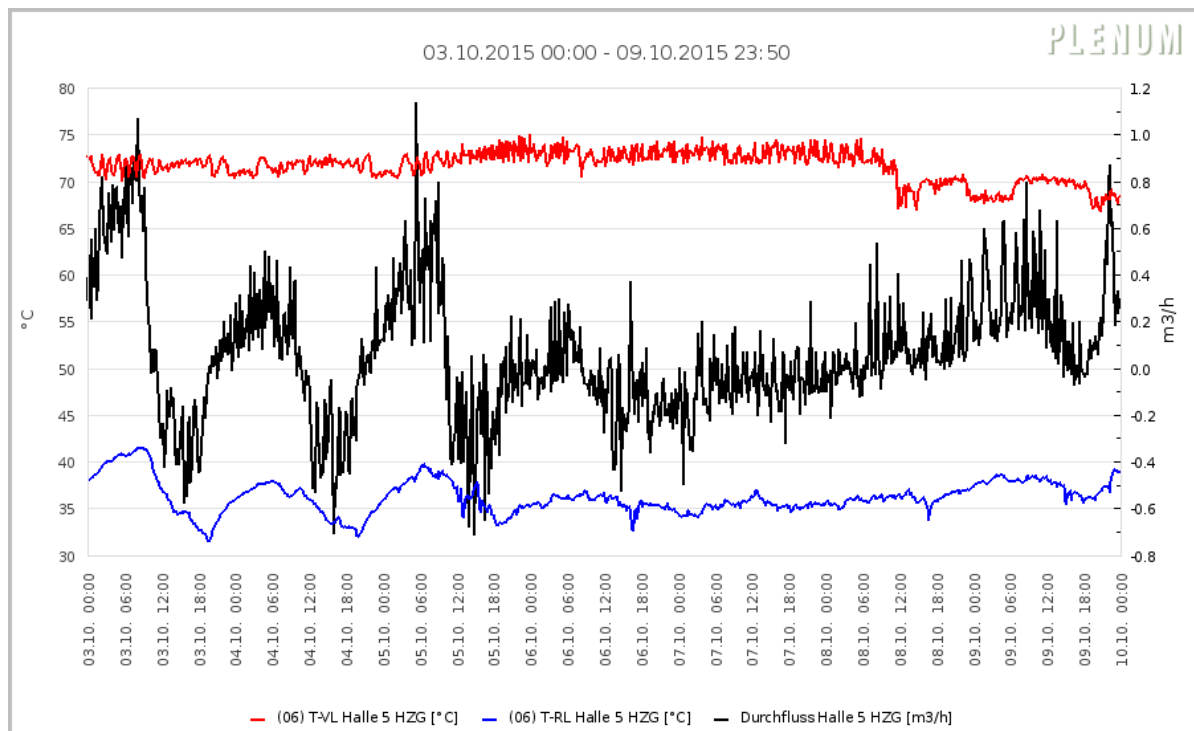


Abbildung 1.1: Zeitweise negative Durchflusswerte des Abgangs Halle 5 von der Ringleitung.

Da auch bei anderen Durchflussmessungen unplausible Werte gemessen werden, wurde beschlossen, eine Überprüfung aller Durchflussmessungen vorzunehmen, um eine realistische Einschätzung der Qualität der Messdaten zu erhalten. Dies ist sowohl zur Analyse von Betriebsfehlern als auch für von quantitative Aussagen sowie zur Modellbildung und Überprüfung notwendig.

2 Vorgehen

2.1 Kurzzeitmessungen

Im Rahmen von drei Vor-Ort Terminen wurden bei allen Messstellen eine kurzzeitige Vergleichsmessung zwischen den fest installierten TFX Ultra der Firma Badger Meter und einem mobilen Messgerät Fluxus F601 der Firma Flexim vorgenommen. Dabei wurden auf den Displays abgelesene Momentanwerte in einem Messprotokoll festgehalten. Um die Messwerte bei unterschiedlichen Durchflüssen vergleichen zu können, wurde, falls möglich, der Durchfluss während der Messung sukzessive gedrosselt.

Wichtig zu beachten ist, dass die Messungen bei instationären Werten systematisch abweichende Messwerte liefern, da die Dämpfung unterschiedlich berechnet wird. Dies wirkt sich negativ auf die Vergleichbarkeit der Messwerte aus, da die Durchflüsse während der Begehung teilweise schnellen Veränderungen unterlagen.

2.2 Langzeitmessungen

Zusätzlich zu den Kurzzeitmessungen wurden an drei Messstellen Langzeitmessungen über mehrere Tage durchgeführt, bei denen die aus der GLT abgerufenen Daten der fest installierten TFX Ultra mit mobilen Durchflussmessungen von Messgeräten des Typs Fluxus ADM 6725 verglichen wurden. Vor Messbeginn wurde die Uhrzeit der Fluxus Messgeräte überprüft und vor dem Vergleich und der Berechnung der Ausgleichsgraden die zeitliche Verschiebung über 300 Sekunden mit der geringsten Abweichung ermittelt.

3 Messergebnisse

Aufgrund von zahlreichen Erfahrungen und Vergleichsmessungen mit dem mobilen Messgerät Fluxus F601 werden die Messwerte dieses Geräts von uns als äußerst genau, und im Rahmen dieser Vergleichsmessung als korrekte Referenzwerte betrachtet.

3.1 Einspeisung Verwaltung

Die Messwerte der Einspeisung Verwaltung liegen um ca. 5 % unter den tatsächlichen Werten. Dies wird im Rahmen der Messgenauigkeit als hinreichend genau betrachtet.

3.2 Einspeisung Halle 6

Die von dem fest installierten TFX Ultra in der Einspeisung Halle 6 gemessenen Werte weichen erheblich von der Vergleichsmessung mit dem Fluxus F601 ab. In Abbildung 3.1 sind die gemessenen Werte zusammen mit einer Ausgleichsgeraden dargestellt. Die von dem fest

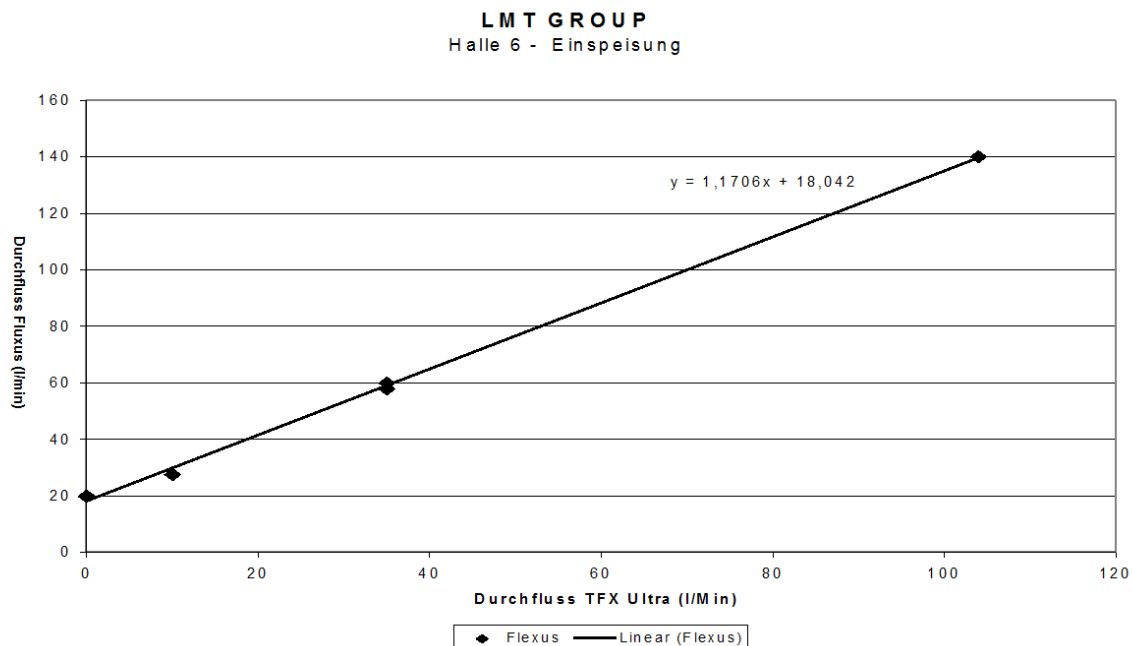


Abbildung 3.1: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

verbauten Messgeräten des Typs TFX Ultra gemessenen Werte weichen deutlich von den tatsächlichen Werten ab. Es gibt einen Offset Fehler von ca. 20 l/min sowie eine Abweichung in der Steigung von ca. 17 %. Die genauen Werte sind der Abbildung zu entnehmen. Das TFX Ultra scheint nicht kalibriert zu sein, die von uns ermittelten Werte werden als zuverlässig betrachtet, da sich der Volumenstrom an dieser Messstelle relativ konstant einstellen ließ und das Problem der unterschiedlichen Dämpfung der beiden Messgeräte somit zu vernachlässigen ist.

3.3 Einspeisung Kompressoren

In der Einspeisung der Kompressoren werden in der Anlage ca. 3-5% größere Werte gemessen als in unserer mobilen Vergleichsmessung. Zu dem ebenfalls vor Ort verbauten WMZ ist die Abweichung noch kleiner. Dies wird im Rahmen der Messgenauigkeit als ausreichende Genauigkeit gewertet.

3.4 Verwaltung nach Halle 2

Die in Abbildung 3.2 gezeigten Messergebnisse deuten auf eine nicht erfolgte Kalibrierung der Messstelle hin.

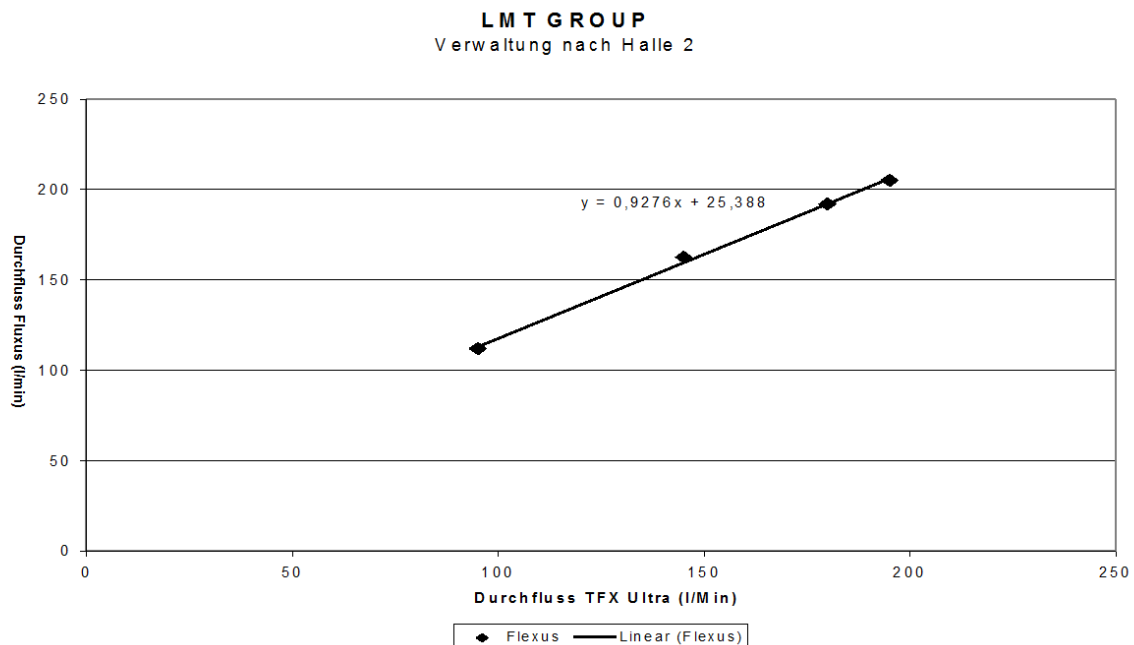


Abbildung 3.2: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten des Fluxus F601.

3.5 Verwaltung nach Halle 5

Bei dem Abgang der Ringleitung aus der Heizzentrale Verwaltung in Richtung Halle 5 wurden sowohl Kurz- als auch Langzeitmessung durchgeführt. Die Darstellung der Messergebnisse der Kurzzeitmessung in Abbildung 3.3 legt die Vermutung einer linearen Abweichung von den tatsächlichen Durchflüssen nahe. In Abbildung 3.4 ist ein Ausschnitt aus der Langzeitmessung gezeigt. Hier ist klar ersichtlich, dass eine Korrektur der Messwerte mit den in der Langzeitmessung ermittelten Faktoren zu plausiblen Messergebnissen führt.

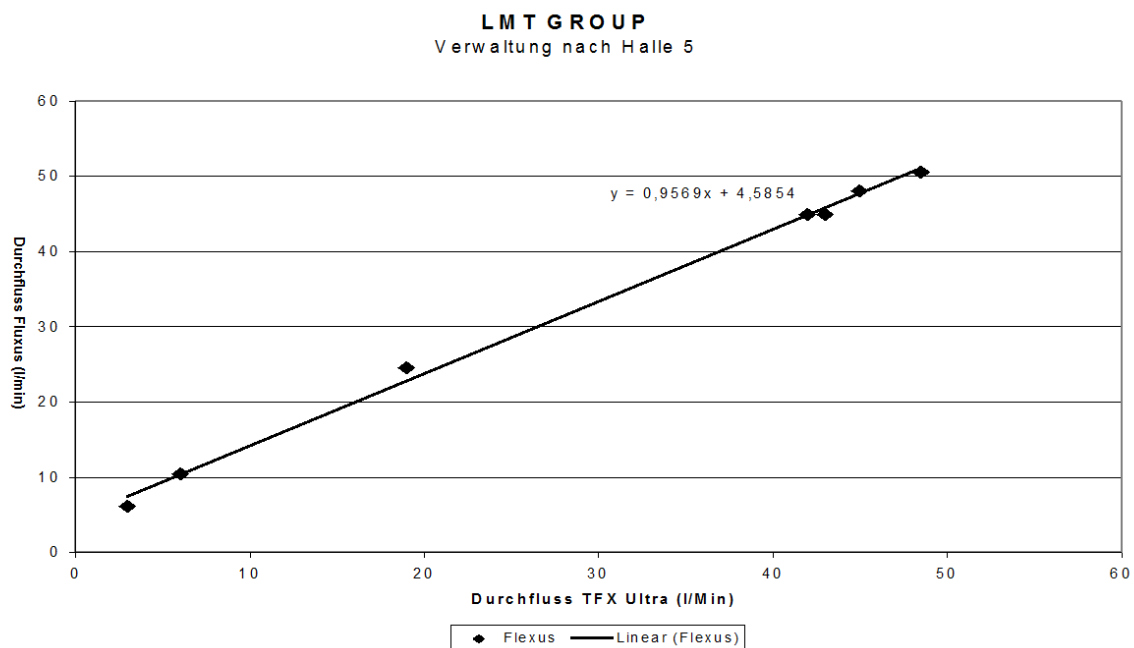


Abbildung 3.3: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

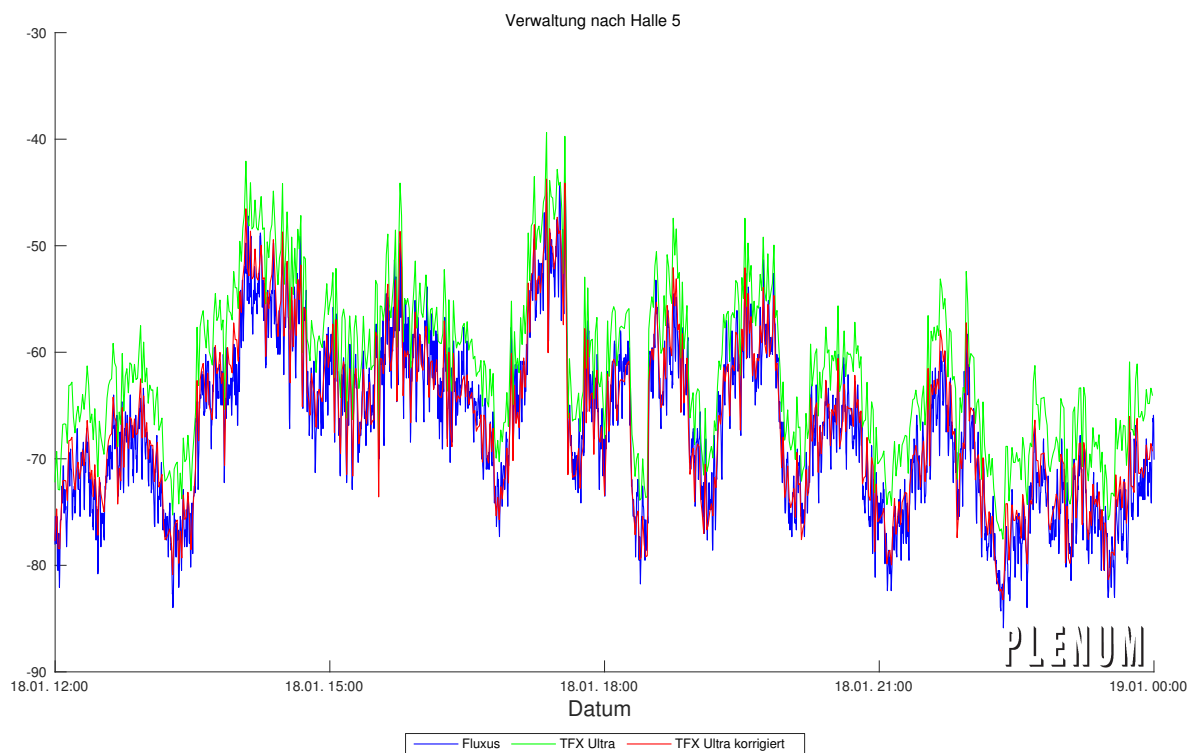


Abbildung 3.4: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601. Die Messung wurde vom 15.-18.01.2016 durchgeführt.

3.6 Halle 2 nach Halle 7

Bei der Messstelle der Ringleitung Halle 2 nach Halle 7, in Halle 7, wurden sowohl eine Kurz- als auch eine Langzeitmessung durchgeführt. Die Darstellung der Messergebnisse der Kurzzeitmessung in Abbildung 3.5 legt wie auch die vorangegangenen Messungen die Vermutung einer linearen Abweichung von den tatsächlichen Durchflüssen nahe. In Abbildung 3.4 ist ein Ausschnitt aus der Langzeitmessung gezeigt. Auch hier wird deutlich, dass eine Korrektur der Messwerte des TFX Ultra mit den in der Langzeitmessung ermittelten Faktoren zu plausiblen Messergebnissen führt. Die kleinere Schwankungsbreite des korrigierten Signals ist darauf zurück zu führen, dass die minütliche Aufzeichnung der Messwerte in der Anlage den tatsächlichen Strömungsverhältnissen nicht gerecht wird. Dies wird teilweise durch die hohe Dämpfung kompensiert, wodurch jedoch die maximalen Amplituden aus dem Signal herausgerechnet werden.

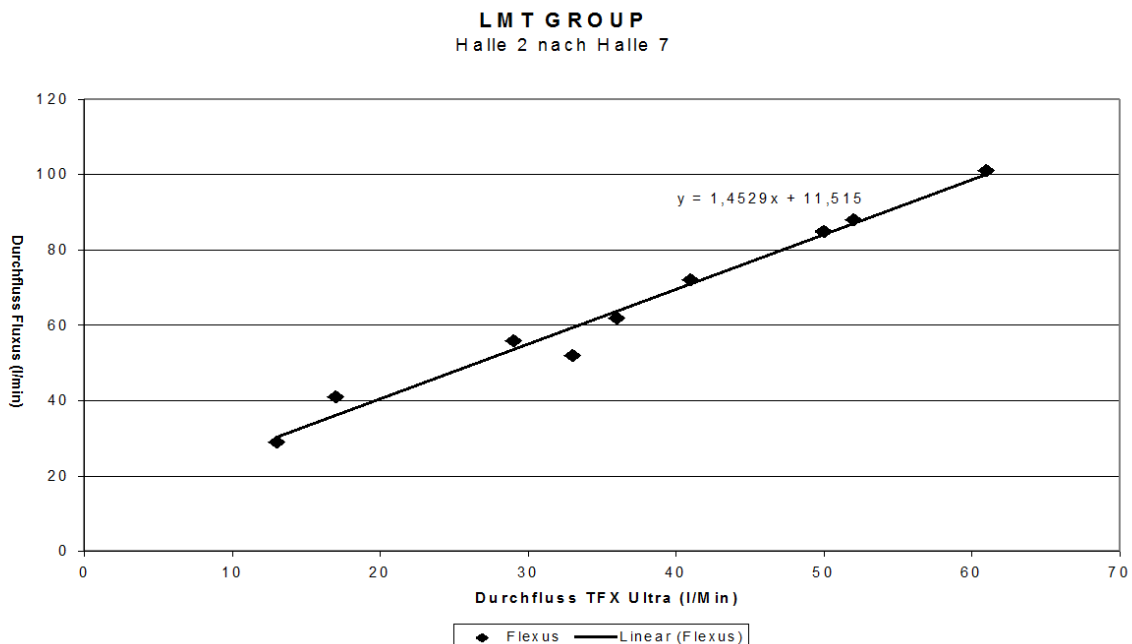


Abbildung 3.5: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

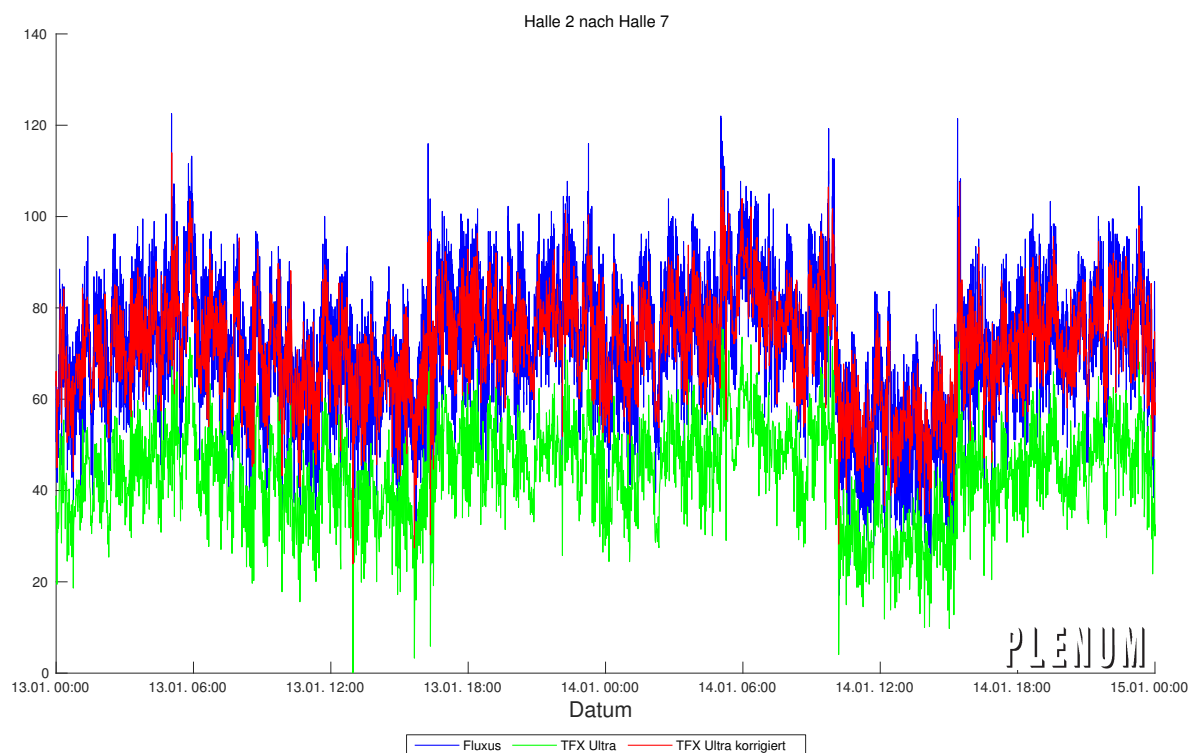


Abbildung 3.6: Messergebnisse der Langzeitmessung. Die korrigierten Messwerte (rot) liegen nah an den tatsächlichen Messwerten (blau).

3.7 Halle 6 nach Halle 7

Die vom TFX Ultra gemessenen Werte lagen während der Begehung um ca. 5-8 % unter den den Werten unserer Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

3.8 Halle 6 nach Halle 8

Die Messergebnisse der Messstelle an der Ringleitung streuen stark um die Linearisierung. Dies ist auf die stark wechselnden Durchflüsse während der Vergleichsmessung was zusammen mit den unterschiedlichen Methoden der Dämpfungsberechnung zu systematischen Differenzen in den ermittelten Werten führt. Die in Abbildung 3.7 gezeigte Linearisierung ist daher nur als grobe Schätzung zu verstehen und kann von den tatsächlichen Werten deutlich abweichen.

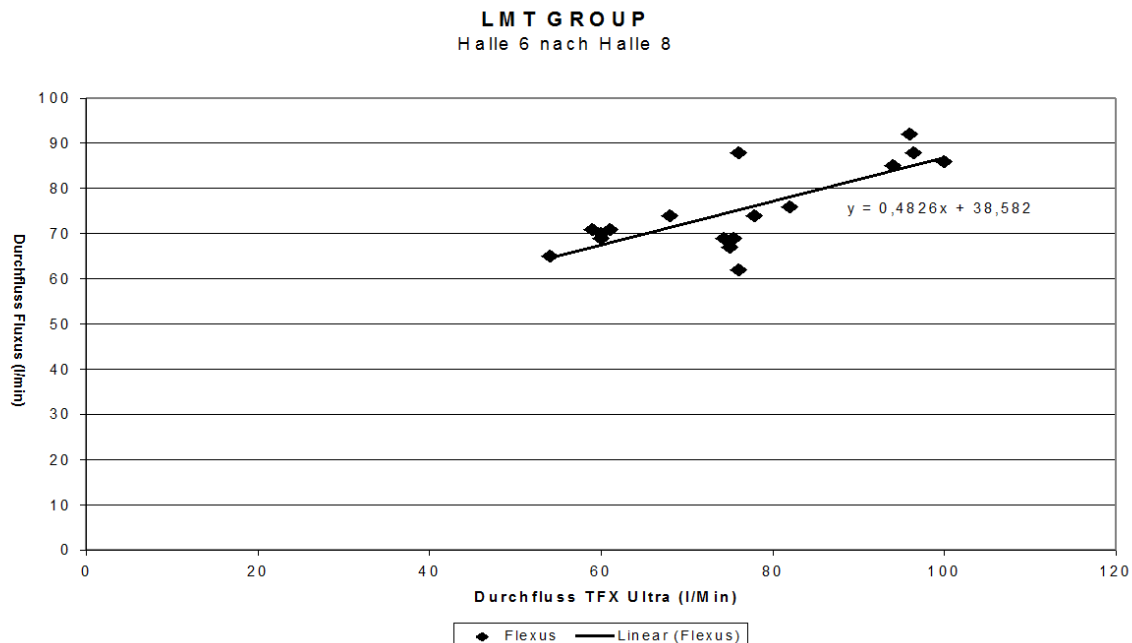


Abbildung 3.7: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

3.9 Halle 7 nach Halle 3

Der Durchfluss am Abgang vom Verteiler Halle 7 in Richtung Halle 3 unterliegt so starke Schwankungen, dass während der Begehung auf einen Vergleich der Momentanwerte verzichtet wurde, da die unterschiedlichen Methoden der Dämpfungsberechnung an den beiden Messgeräten einen aussagekräftigen Vergleich bei derart starken Schwankungen unmöglich macht. Das Ausmaß der Schwankungen ist in Abbildung 3.9 gut zu erkennen. Selbst die in blau dargestellte Messung des Fluxus Messgeräts welche mit einer Samplingrate von 10 Sekunden aufgezeichnet wurde ist nicht im Stande die tatsächlichen Verhältnisse akkurat abzubilden. Die über die GLT minütlich abgerufenen Daten des TFX Ultra können dies noch weniger und stellen eine noch stärkere Mittelung über den Messbereich dar. Trotz dieser Problematik liegen die korrigierten Messwerte des TFX Ultra deutlich näher an den durch die Vergleichsmessung ermittelten Werten, was insbesondere in dem in Abbildung 3.8 Zweitagesausschnitt deutlich wird.

Abgesehen von den Problemen welche die stark schwankenden Volumenströme für die Messung darstellen ist dies auch ein Hinweis auf Probleme bei den Verbrauchern, da der Volumenstrom über den gesamten Messzeitraum von drei Tagen ähnlich stark schwankt wie in Abbildung 3.9 für einen zweistündigen Ausschnitt gezeigt ist. Bei sachgemäßer Regelung und funktionierender Hydraulik sollten in einem Heizungssystem deutlich gleichmäßigere Volumenströme auftreten.

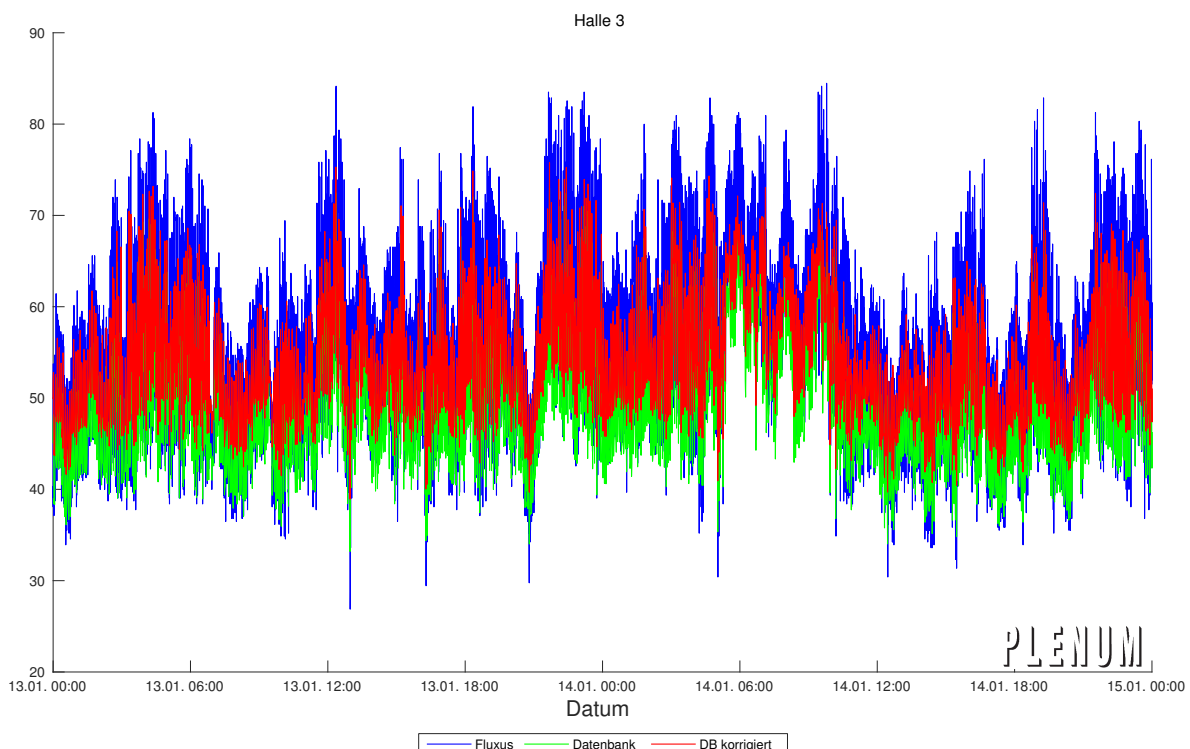


Abbildung 3.8: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

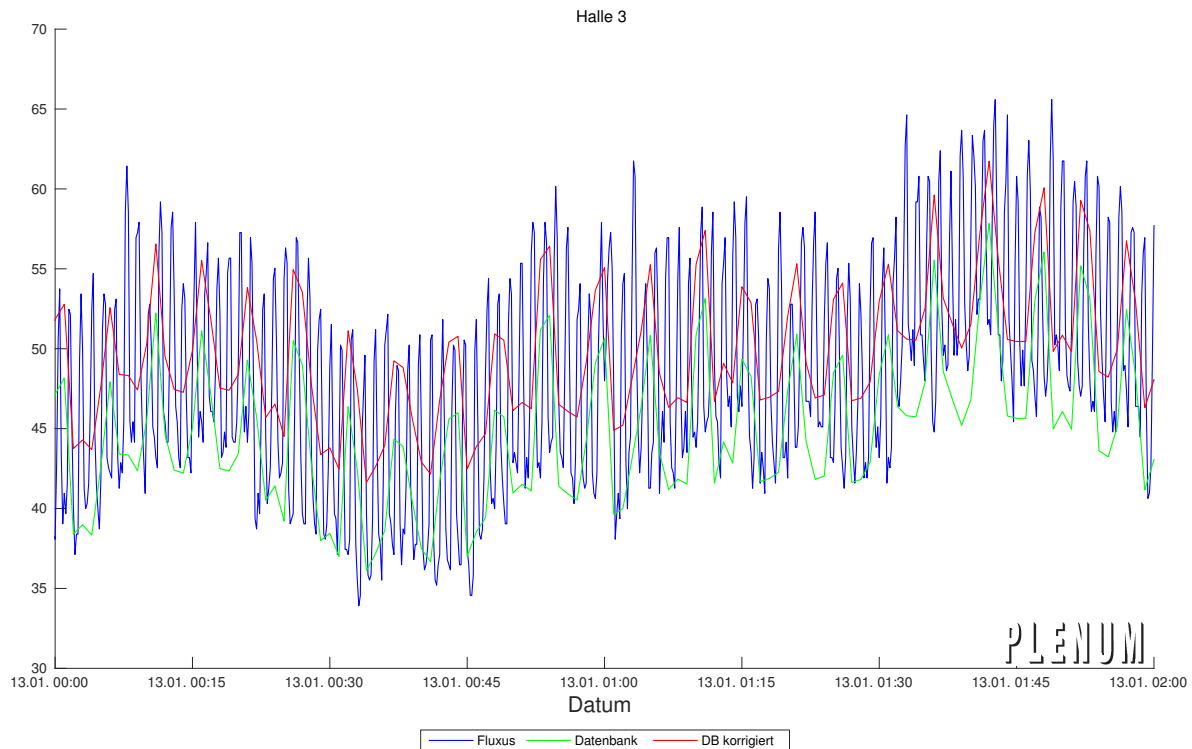


Abbildung 3.9: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

3.10 Halle 2A

Die Volumenstrommessung in Halle 2A liefert seit der Installation keine zuverlässigen Messwerte, weswegen sich eine Überprüfung selbiger erübrigt. Dies ist zumindest teilweise auf eine ungünstige Messstrecke zurück zu führen. Im Rahmen der Nachrüstung der Messtechnik im Rahmen von OBSERVE ist geplant, einen weiteren Abgang in Halle 2A zu Messen wodurch die derzeitige Messung an eine geeignetere Position versetzt werden kann.

3.11 Halle 6 nach EDV

Die in Abbildung 3.10 dargestellte Abweichung des Durchflusses wurde nach der Korrektur der Wandstärke von 3,65 auf 2,6 mm gemessen. In der von uns erstellten Installationstabelle waren 3,0 mm vorgegeben. Der Durchfluss war während der Messung nahezu konstant und ließ sich eindrosseln. Die an zahlreichen anderen Messstellen vorgefundene Problematik der stark wechselnden Volumenströme traten bei dieser Messstelle nicht auf, was die Zuverlässigkeit der Ergebnisse erhöht.

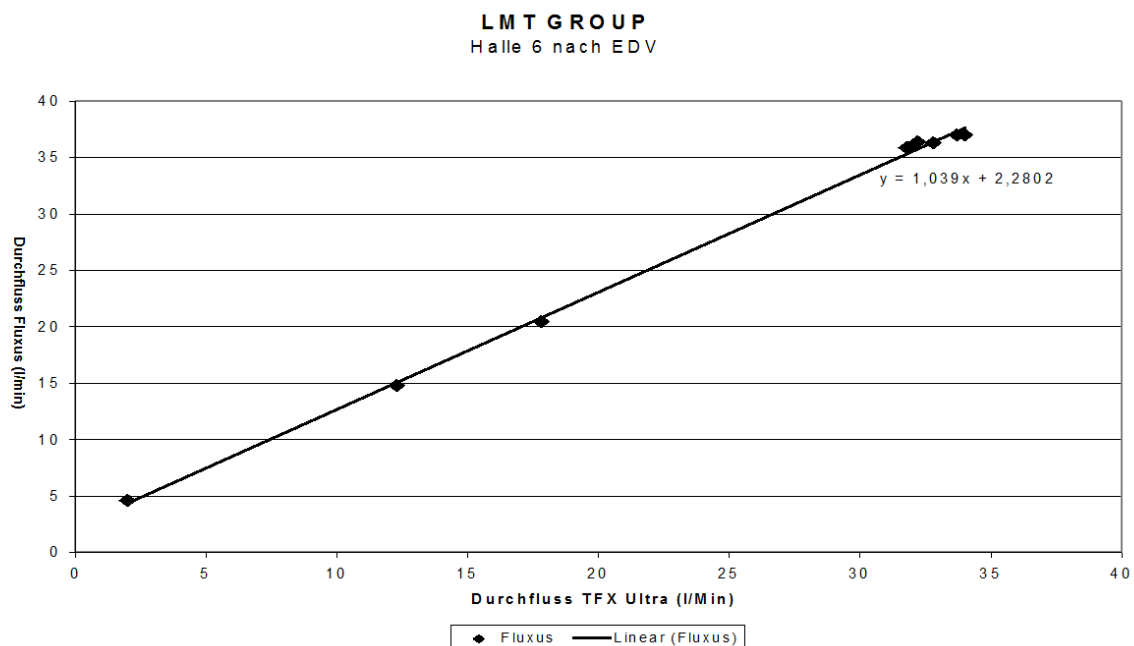


Abbildung 3.10: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

3.12 Halle 4

Die Vergleichsmessung in Halle 4 zeigt eine deutliche lineare Abweichung der in der Anlage von dem TFX Ultra gemessenen Werte von den Werten des Fluxus. Eine Kalibrierung der Messstelle wurde augenscheinlich nicht durchgeführt.

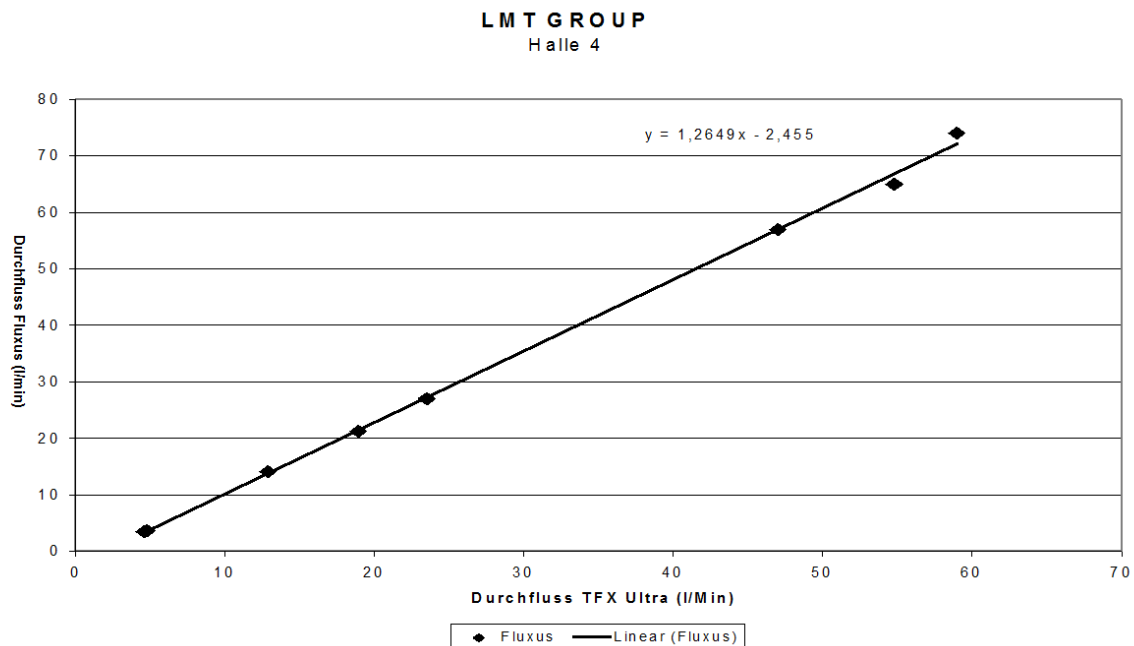


Abbildung 3.11: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

3.13 Lüftungsgerät Halle 1

Auch bei dem Lüftungsgerät in Halle 1 gibt es eine deutliche lineare Abweichung des vor Ort gemessenen Durchflusses von dem tatsächlichen. Eine Kalibrierung scheint auch bei dieser Messstelle nicht stattgefunden zu haben.

Dies führte der Analyse der aktuellen Messwerte (30.01.2016) zu der fälschlichen Annahme eines Bypasses mit einem Durchfluss von 0,88 m³/h, woraus sich in Verbindung mit der Temperaturdifferenz von 42 K zwischen Vor- Und Rücklauf eine Verlustleistung von ca. 43 kW ergibt. Eine Korrektur mit den im Rahmen der Begehung ermittelten Korrekturfaktoren ergibt eine Verlustleistung von 20 kW. Dies ist weniger als die Hälfte ist und zeigt die Notwendigkeit einer Kalibrierung der Durchflussmessungen sehr anschaulich.

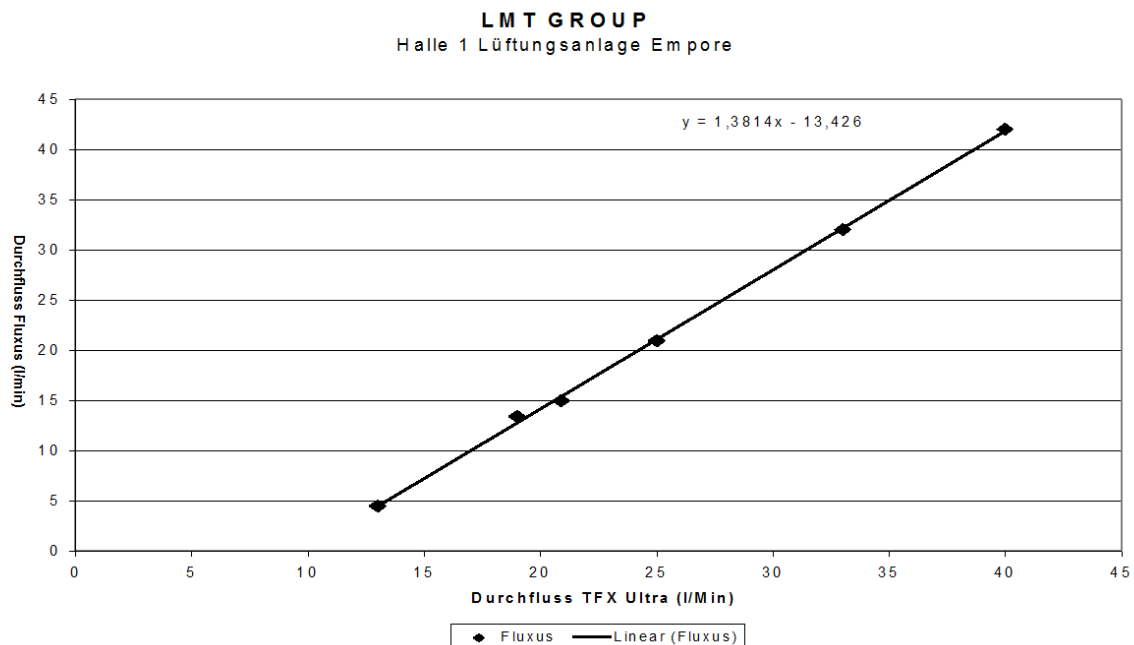


Abbildung 3.12: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

3.14 Halle 5

Die Messungen in Halle zeigen ebenfalls eine deutliche lineare Abweichung welche sich durch eine Kalibrierung korrigieren ließe. Die starke Streuung um die Linearisierung ist auf die stark wechselnden Durchflüsse während der Ermittlung der Vergleichswerte zurück zu führen.

Die Art der Abweichung ist jedoch wie erwartet und erklärt das in Kapitel 1 gezeigte Phänomen der zeitweise als negativ angezeigten Durchflüsse bei positivem Differenzdruck und unveränderten Vor- und Rücklauftemperaturen auf dem Verteiler. Der Verdacht eines erheblichen Offset Fehlers, welcher Ausgangspunkt der gesamten Überprüfung war, wurde damit bestätigt.

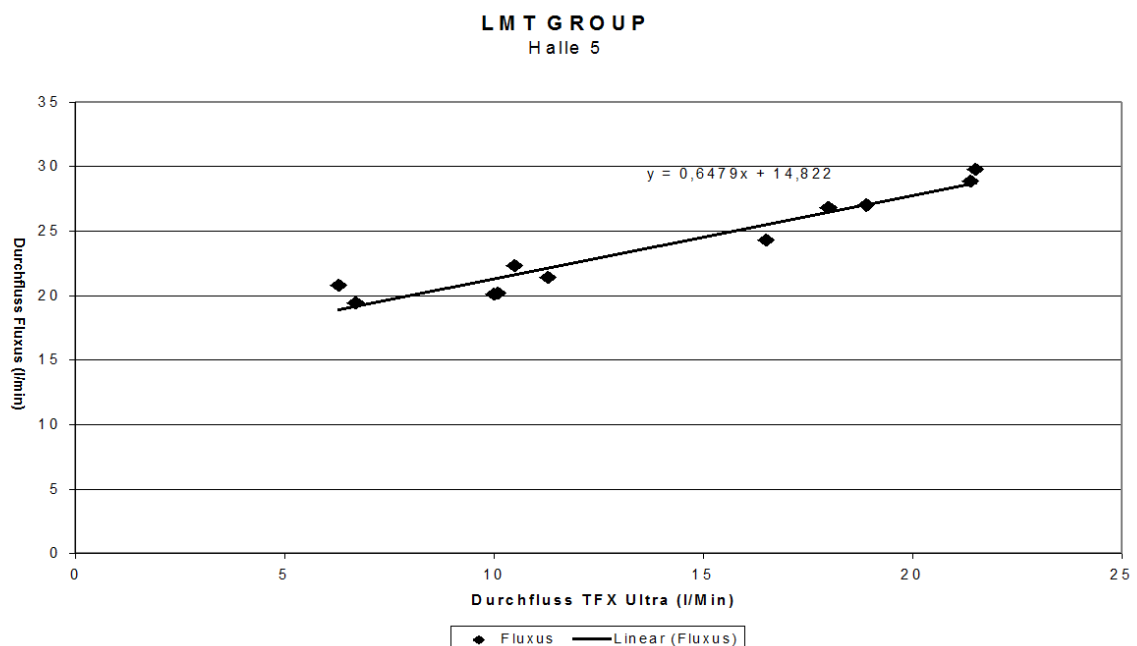


Abbildung 3.13: Abweichung der Messwerte des TFX Ultra von den Werten der Referenzmessung mit dem Fluxus F601.

3.15 Übersicht der Korrekturfaktoren

Messtelle	Offset [l/min]	Steigung
Einspeisung Verwaltung	0	1,05
Einspeisung Halle 6	18,0	1,17
Einspeisung Kompressoren	0	0,96
Verwaltung nach Halle 2	25,4	0,93
Verwaltung nach Halle 5	4,6	0,96
Verwaltung nach Halle 5 (langzeit Messung)	-3,03	1,03
Halle 2 nach Halle 7	11,5	1,45
Halle 2 nach Halle 7 (langzeit Messung)	23,8	1,09
Halle 7 nach Halle 6	0	1,07
Halle 7 nach Halle 3 (langzeit Messung)	8,2	0,93
Halle 6 nach Halle 8	38,6*	0,48*
Halle 6 nach EDV	2,3	1,04
Halle 2A	-**	-**
Halle 4	-2,5	1,26
Lüftungsgerät Halle 1	-13,4	1,38
Halle 5	14,8	0,65

* Mit starker Unsicherheit behaftet.

**Nicht ermittelt.

4 Mögliche Ursachen

Im Rahmen der Messungen wurde bei zahlreichen Messstellen erhebliche Abweichungen der vor Ort verwendeten Durchflussmessgeräte TFX Ultra von unserer Vergleichsmessung mit einem Fluxus F601 festgestellt. Aufgrund der langjährigen Erfahrung halten wir die Messwerte des Fluxus F601 für korrekt, was bedeutet dass die TFX Ultra teilweise fehlerhafte bzw. zu korrigierende Messwerte liefern.

Als Ursache hierfür kann eine Kombination aus folgenden Faktoren sein:

- Bei einigen Messstellen wurden die von uns in Tabellenform bereitgestellten Werte für Wandstärke und Rohrdurchmesser im Zuge der Installation falsch eingegeben. Beispiele hierfür sind die Messstellen Halle 6 nach EDV sowie Halle 6 nach Halle 8. Bei anderen Messstellen wurden ebenfalls falsche Parameter korrigiert, jedoch wurde dies nicht im einzelnen dokumentiert und mit den von uns ursprünglich bereitgestellten Werten verglichen.
- An einigen Messstellen wurden die von den TFX Ultra vorgegebenen Installationsabstände der Messwertaufnehmer nicht eingehalten. Beispiele sind die Messstellen Verwaltung nach Halle 5, Verwaltung zum Neubau, und das Lüftungsgerät Halle 1. Bei den beiden erstgenannten wurde der Abstand korrigiert.

- Die Messstellen sind zum Teil nicht optimal in Hinblick auf die Ein- und Auslaufstrecken. Dies ist den baulichen Umständen vor Ort geschuldet. Dies ist insbesondere bei den Messstelle Halle 2 nach Halle 7 sowie in Halle 2A der Fall.
- Der Hersteller empfiehlt nach dem Einbau eine Einmessung mit Nullpunkt und Steigungskorrektur durchzuführen. Dies ist nach unserem Wissen nicht erfolgt.

Außerdem ist eine systematische Problematik zu beachten, welche sowohl die Kurz- als auch die Langzeitmessungen betrifft, nämlich dass die Dämpfung auf den Messgeräten auf unterschiedliche Art und Weise berechnet wird. In den vor Ort verbauten TFX Ultra wird die Dämpfung des Messwerts in % eingestellt, in dem mobilen Fluxus Messgerät lässt sich eine Dämpfung in Sekunden einstellen. In dem ersten Fall findet also eine exponentielle Glättung statt, im zweiten Fall wird ein gleitender arithmetischer Mittelwert gebildet. Ein Vergleich solcher unterschiedlich gedämpfter Messwerte führt bei stark wechselnden Durchflüssen, wie sie an zahlreichen Messstellen in der Anlage vorherrschen, zu systematischen Abweichungen, welche auf die Art und Weise der Messwerterfassung zurück zu führen sind.

5 Empfehlungen

Bei der Begehung wurden Abweichungen der in den Messgeräten einprogrammierten Parameter von den bei der Begehung gemessenen Parametern festgestellt. Eine stichprobenartige Überprüfung der einprogrammierten Parameter mit den von uns in Tabellenform zur Installation bereitgestellten Parametern ergab, dass diese Vorgaben, an den zwei Messstellen an denen diese Werte verglichen wurden, nicht eingehalten wurden.

Eine Überprüfung der eingegebenen Parameter und des sich daraus ergebenden Installationsabstands der Messaufnehmer ist daher unbedingt erforderlich.

Außerdem deuten sowohl die Kurz- als auch die Langzeitmessungen auf eine fehlerhafte bzw. nicht erfolge Kalibrierung der Messumformer hin. Dass durch die Kurz- und Langzeitmessungen unterschiedliche Parameter zur Korrektur ermittelt wurden liegt daran, dass die stark schwankenden Durchflüsse in Kombination mit den unterschiedlichen Dämpfungsverfahren keine vergleichbaren Istwerte liefern. Die aus der Auswertung der während der Begehung durch die Kurzzeitmessung ermittelten Korrekturfaktoren sind daher nicht geeignet um damit eine nachträgliche rechnerische Korrektur der Messwerte durchzuführen.

Hinzu kommt, dass eine rechnerische Korrektur der Messwerte unsererseits die Anzeige der fehlerhaften Messwerte in der Leitwarte vor Ort nicht beeinflussen würde. Durch die zum Teil nicht unerheblichen Offset-Fehler in den Messwerten werden dort zum Teil falsche Fließrichtungen angezeigt, wodurch die Messdaten für die Haustechnik möglicherweise zu fehlerhaften Analysen und Entscheidungen führen könnten. Daher empfehlen wir dringend vor Ort eine Überprüfung und Kalibrierung der Messstellen von fachkundigem Personal durchführen zu lassen, da sich nur auf diesem Wege brauchbare Messwerte für alle Beteiligten ermitteln lassen.