

# **Fehler bei der Messung und Kalibrierung von Niederschlagswippen**

## **Measurement's and Calibration's Errors of Tipping Bucket Rain Gauge**

Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades  
Diplomingenieur  
der Studienrichtung Bauingenieur

Eingereicht von

**MICHAELA THALER**

Am Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau  
der Technischen Universität Graz  
Vorstand: Univ.-Prof., DDipl.-Ing. Dr. techn. Harald KAINZ

Begutachter: Univ.-Prof., DDipl.-Ing. Dr. techn. Harald KAINZ  
Betreuer: Univ. Ass., Dipl.-Ing. Martin HOCHEDLINGER

Graz, im Juli 2004

## **Erklärung**

Ich erkläre Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 03.Juni.2004

.....

Michaela Thaler

## **Danksagung**

An dieser Stelle bedanke ich mich bei meinen Eltern, die mir das Studium an der TU Graz ermöglicht haben.

Auch danke ich dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, insbesondere

Univ.-Prof., DDipl.-Ing. Dr.techn. Harald Kainz sowie  
Univ.Ass., Dipl.-Ing. Martin Hochedlinger

Weiters möchte ich mich bei Roland Fuchs für die Hilfe bei der Durchführung der beiden Messungen bedanken.

Graz, im Juli 2004

Michaela Thaler

## **Kurzfassung**

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurden zwei Niederschlagswippen gleicher Bauart, in einem zeitlichen Abstand von sechs Wochen auf drei verschiedene Arten kalibriert. Diese drei verschiedenen Arten sind: statische Kalibrierung, dynamische Kalibrierung mit konstanter Druckhöhe und dynamische Kalibrierung mit Peristaltikpumpe (mit konstantem Durchfluss). Mit den gewonnenen Daten der verschiedenen Kalibrierarten wurden Kalibrierkurven mit linearem, potenziellem und polynomischem Funktionsansatz erstellt. Im Besonderen wurde der Bereich bis zu einer Intensität von 1 mm/min betrachtet. Es wurden Niederschlagsereignisse mit verschiedenen Intensitäten korrigiert und verglichen. Für beide Wippen scheinen der lineare und der potenzielle Funktionsansatz am geeignetsten zu sein. Bereiche bis zu einer Intensität von 1 mm/min müssen genauer betrachtet werden. Der Vergleich der beiden Wippen hat gezeigt, dass jede Wippe eine „Eigendynamik“ aufweist. Die dadurch auftretenden Fehler können jedoch durch eine sorgfältige statische Kalibrierung und der Korrektur der Niederschlagsdaten minimiert werden.

## **Abstract**

Main aim of this thesis is the comparison between two different tipping bucket gauges of the same designs. These two tipping bucket gauges have been calibrated twice by means of three different calibration types. These are: static calibration, dynamic calibration with constant head and dynamic calibration with peristaltic pump (with constant flow). Calibration curves with linear, potential and polynomial functions have been created with the collected data. Precipitation events with different intensities were corrected and compared. The linear and potential function correction seem to be best for this measurement station. Intensities up to 1 mm/min have to be examined more thoroughly. The comparison of the two tipping bucket rain gauges showed for each tipping bucket rain gauge a momentum of its own. Thus errors can be minimized by a careful static calibration and correction of the precipitation data.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>9</b>
1.1	Allgemeines .....	9
1.2	Aufgabenstellung.....	10
1.3	Vorgangsweise.....	10
<b>2</b>	<b>NIEDERSCHLAG .....</b>	<b>11</b>
2.1	Allgemeines .....	11
2.1.1	Begriffe.....	11
2.1.2	Niederschlagsbildung .....	12
2.1.3	Niederschlagstypen.....	13
2.1.3.1	Zyklonaler (advektiver) Niederschlag .....	13
2.1.3.2	Konvektiver Niederschlag .....	14
2.1.3.3	Orographischer Niederschlag .....	15
2.1.4	Niederschlagsformen .....	16
2.1.4.1	Fallender Niederschlag .....	16
2.1.4.2	Abgesetzter Niederschlag .....	17
2.1.4.3	Abgefangener Niederschlag.....	18
2.1.5	Niederschlagsarten .....	18
2.1.5.1	Landregen.....	18
2.1.5.2	Schauer.....	19
2.1.5.3	Starkregen .....	19
2.1.5.4	Dauerregen .....	19
2.1.6	Punktniederschlag.....	19
2.1.7	Gebietsniederschlag .....	19
2.2	Niederschlagsmeßmethoden .....	20

2.2.1	Allgemeines.....	20
2.2.2	Ombrometer .....	20
2.2.3	Totalisator .....	20
2.2.4	Ombrograph .....	21
2.2.4.1	Niederschlagswippe .....	23
2.2.4.2	Tropfenzähler .....	23
2.2.4.3	Messzylinder .....	23
2.2.4.4	Schwimmergeräte mit und ohne Hebersysteme.....	23
2.2.4.5	Niederschlagswaage.....	24
2.2.5	Radar .....	25
2.2.6	Satellitenbilder.....	27
2.2.7	Fehler bei der Niederschlagsmessung.....	28
2.2.7.1	Windfehler.....	28
2.2.7.2	Haftwasser .....	28
2.2.7.3	Verdunstungsfehler.....	28
2.2.7.4	Spritzer.....	28
<b>3</b>	<b>NIEDERSCHLAGSWIPPE .....</b>	<b>29</b>
3.1	Allgemeines.....	29
3.2	Aufbau der Wippe .....	29
3.3	Funktionsweise .....	33
3.4	Aufstellung .....	34
<b>4</b>	<b>KALIBRIERARTEN .....</b>	<b>35</b>
4.1	Statische Kalibrierung .....	35
4.1.1	Vorbereitung.....	35
4.1.2	Versuchsdurchführung .....	35
4.2	Dynamische Kalibrierung.....	36

4.2.1	Dynamische Kalibrierung mit konstanter Druckhöhe.....	36
4.2.1.1	Vorbereitung .....	36
4.2.1.2	Versuchsdurchführung .....	37
4.2.2	Dynamische Kalibrierung mit konstantem Durchfluss .....	38
4.2.2.1	Versuchsaufbau .....	38
4.2.2.2	$\mu$ P- gesteuerte Peristaltikpumpe .....	39
4.2.2.2.1	Allgemeines.....	39
4.2.2.2.2	Funktionsprinzip .....	39
4.2.2.2.3	Stromversorgung.....	41
4.2.2.2.4	Schläuche.....	41
4.2.2.2.5	Kalibrierkurven der Pumpe .....	41
4.2.2.3	Kalibriergerät.....	43
4.2.2.3.1	Allgemeines.....	43
4.2.2.3.2	Eigenschaften des Kalibriergerätes .....	43
4.2.2.3.3	Beschreibung .....	44
4.2.2.3.4	Funktionsweise.....	45
4.2.2.4	Versuchsdurchführung .....	45
4.2.2.5	Messwerterfassung.....	46
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>47</b>
5.1	Kalibrierkurven.....	47
5.2	Auswertung .....	53
5.3	Niederschlagskorrektur.....	55
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK .....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>63</b>

<b>8</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>65</b>
<b>9</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>103</b>
<b>10</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>105</b>

# 1 Einleitung

## 1.1 Allgemeines

Die Entlastung aus Mischkanalisationen in ein Gewässer erfolgt über Mischwasserentlastungen. Damit ein ausreichender Gewässerschutz gewährleistet ist, dürfen Mischwasserentlastungen einen Grenzwert der entlasteten Jahresfrachten (AEV Mischwasser 10.2003) nicht überschreiten. Aus dieser Forderung ergeben sich die konstruktive Ausbildung und das erforderliche Volumen der Mischwasserentlastungen.

Als Nachweis dieser Jahresfrachten gemäß AEV Mischwasser zur Mischwasserbehandlung wird eine Schmutzfrachtberechnung dienen. Hierbei erfolgt eine Simulation der Abfluss- und Entlastungsvorgänge in einer Kanalisation für einen definierten Simulationszeitraum von mindestens 1 Jahr. Im Ergebnis weist die Schmutzfrachtberechnung für die einzelnen Mischwasserentlastungen die Jahresfrachten und die Weiterleitung im Jahresmittel aus, die den zulässigen Werten gegenüber gestellt werden.

Für die Schmutzfrachtberechnung wird aus den Systembausteinen Teilfläche, Einzeleinleiter, Sammler und Sonderbauwerk ein Abbild der Kanalisation als Grobnetz im Simulationsprogramm erstellt. Den Systembausteinen werden Kennwerte für die Schmutzfrachtkonzentrationen auf den Oberflächen und im Trockenwetterabfluss mit ihren Jahressganglinien zugeordnet.

Als Niederschlagsbelastung ist für die Schmutzfrachtberechnung eine digitalisierte Regenreihe erforderlich. Da die Niederschlagsmessung fehlerbehaftet ist, wird im Rahmen dieser Untersuchung - unter Zuhilfenahme von verschiedenen Arten der Kalibrierung und verschiedenen Arten der Niederschlagsdatenkorrektur – versucht, diesen Fehler weitgehend zu minimieren.

Aus dem Nachweisverfahren ergeben sich wesentlich detailliertere Aussagen zum Entlastungsverhalten der Mischwasserbehandlungsanlagen. Dies ermöglicht eine effizientere Optimierung eines Entwässerungssystems. Vorhandene Reserven werden als Einsparpotenzial erkannt.

## 1.2 Aufgabenstellung

Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollen zwei Niederschlagswippen gleicher Bauart, in einem zeitlichen Abstand von vier bis sechs Wochen kalibriert werden, um so die Fehler bei der Messung und Kalibrierung von Niederschlagswippen abschätzen zu können.

Im Zuge dessen soll auch überprüft werden, welchen Einfluss die Schlauchquetschpumpe auf den Kalibriervorgang hat. Weiters werden Kalibrierkurven für die beiden Niederschlagswippen erstellt. Mit den Kalibrierkurven werden die gewonnenen Niederschlagsdaten für den Zeitraum von rund zwei Monaten korrigiert. Durch einen Vergleich mit anderen Niederschlagsmessstationen soll der optimale Korrekturansatz für diese Wippen gefunden werden.

## 1.3 Vorgangsweise

Um diese Untersuchung durchführen zu können, wurden beim Messcontainer bei der Bertha-von-Suttner-Friedensbrücke, Graz zwei Niederschlagswippen gleicher Bauart aufgestellt.

Es wurden drei verschiedene Arten der Kalibrierung durchgeführt:

- Statische Kalibrierung
- Dynamische Kalibrierung mit konstanter Druckhöhe
- Dynamische Kalibrierung mit Peristaltikpumpe

Diese drei verschiedenen Arten der Kalibrierung werden in einem Abstand von vier Wochen wiederholt, um einerseits den Temperatureinfluss auszuschalten und andererseits die Veränderung der Kalibrierung aufgrund des Niederschlages abzuschätzen.

Mit den gewonnenen Messdaten werden gerätespezifische Kalibrierkurven erstellt. Ein anschließender Vergleich der verschiedenen Korrekturmethode und deren Interpretation war eine der Hauptaufgaben.

Mit diesen Kalibrierkurven wurde der gemessene Niederschlag der Monate April und Mai korrigiert - und sowohl miteinander als auch mit den Ergebnissen der Niederschlagswaage der Messstation Klusemannngasse verglichen, um somit Aussagen über möglich Fehler bei der Kalibrierung treffen zu können.

Aufgrund der verschiedenen Vergleiche wurde ermittelt, welche der Korrekturmethode bei der Messstelle am geeignetsten zu sein scheint.

## 2 Niederschlag

### 2.1 Allgemeines

#### 2.1.1 Begriffe

Niederschlag ist in den meisten Regionen der Erde der wichtigste Wasserlieferant. Er steht bei der Wasserhaushaltsbilanz auf der Einnahmenseite. Menge und zeitliche Verteilung des Niederschlages sind entscheidend für die Entwicklung von Böden und Lebensformen. Niederschlag stellt die engste Schnittstelle zwischen Klimatologie und Hydrologie dar.

Niederschlag ist nach der DIN 1996 Wasser der Atmosphäre, das nach Kondensation oder Sublimation von Wasserdampf in der Lufthülle ausgeschieden wurde und sich infolge des Einflusses der Schwerkraft entweder zur Erdoberfläche bewegt (fallender Niederschlag) oder bereits zur Erdoberfläche gelangt ist (gefallener Niederschlag).

Der Niederschlag wird nach Bergmann(1997) charakterisiert durch:

- **Niederschlagshöhe  $h_N$  [mm] bzw.  $[\text{l}/\text{m}^2]$**   
Wasserangebot aus atmosphärischen Niederschlägen an einem bestimmten Ort, ausgedrückt als Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche.
- **Niederschlagsintensität  $i_N$  [mm/min] bzw. [mm/h]**  
Quotient aus Niederschlagshöhe und Zeit.
- **Niederschlagsspende  $r_N$  [ $\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ ] bzw. [mm/h]**  
Quotient aus dem Volumen des Niederschlages und dem Produkt aus Zeit und Fläche.
- **Niederschlagsfracht  $V_N$  [ $\text{m}^3$ ]**
- **Niederschlagsgebiet  $A_N$  [ $\text{km}^2$ , ha]**  
Von einem bestimmten Niederschlagsereignis betroffenes Gebiet, in der Horizontalprojektion gemessen.
- **Niederschlagsdauer  $t_N$  [d, h, min]**  
Zeitspanne, in der der Niederschlag gefallen ist.
- **Regendauer  $\Delta t_N$  [d, h, min]**  
Dauer eines Regens innerhalb eines Niederschlagsereignisses.

## 2.1.2 Niederschlagsbildung

Zur Bildung von Niederschlag nach Baumgartner & Liebscher (1996) müssen drei Voraussetzungen erfüllt sein:

- Sättigung der Luft mit Wasserdampf (relative Luftfeuchtigkeit wird 100 %) - dies erfolgt im Wesentlichen durch das Abkühlen des aufsteigenden Luftpaketes.
- Phasenübergang (Kondensation, Gefrieren....)
- Wachstum der Tropfen und/oder Eispartikel

Die Niederschlagsbildung findet im Normalfall in der Wolke statt.

Dabei unterscheidet man zwischen Wolken, die nur Wassertropfen enthalten (warme Wolken), Wolken, die nur Eisteilchen enthalten (kalte Wolken) und Wolken, die Wassertropfen und Eisteilchen enthalten.

Die Abkühlung der Luftmassen kann auf drei verschiedenen Arten erfolgen:

- Durch Konvergenz in Tiefdruckgebieten (zyklonische Abkühlung )
- Abkühlung durch orographisch bedingte Hebung (erzwungene Abkühlung)
- Abkühlung durch konvektiv bedingte Hebung (freie Konvektion)

Daraus resultierend unterscheidet man zyklonischen, orographischen und konvektiven Niederschlag (siehe auch 2.1.3).

Die Wassertröpfchen oder Eisteilchen haben zunächst ein so geringes Gewicht, dass sie durch schwach aufsteigende Luftströme in Schwebelage gehalten bzw. weiter aufwärts bewegt werden können. Es beginnt eine Vergrößerung der Wassertröpfchen und/oder der Eisteilchen. Die Vergrößerung der Wassertropfen oder Eisteilchen kommt dadurch zustande, dass sich an bereits vorhandene Tropfen oder Eisteilchen stets neues Wasser anlagert, welches aus dem Wasserdampf der Luft stammt; die vorhandenen Wassertropfen oder Eisteilchen wirken also gewissermaßen als Kondensations- bzw. Sublimationskern. Außerdem fließen Tropfen zusammen (Koagulation), was ebenfalls zur Vergrößerung der Tropfen beiträgt.

Schließlich wachsen die Wassertropfen oder Eisteilchen soweit an, dass sie vom aufsteigenden Luftstrom nicht mehr in Schwebelage gehalten werden können und herabfallen. Damit beginnt der Niederschlag, der zunächst unterhalb der Wolken wieder verdampft, bis dort eine solche Feuchtigkeitsanreicherung erfolgt ist, dass die Tropfen nunmehr die Erde erreichen. Bei den festen Wolkenbestandteilen sind die Temperaturverhältnisse unterhalb der Wolke dafür entscheidend, ob der Niederschlag in fester oder flüssiger Form den Erdboden erreicht (Heyer 1977).

## 2.1.3 Niederschlagstypen

### 2.1.3.1 Zyklonaler (advektiver) Niederschlag

Zyklonaler Niederschlag (Disse, 2003) wird durch Aufsteigen von Luft verursacht, das aufgrund von Tiefdruckgebieten in der Atmosphäre und des daraus entstehenden horizontalen Zusammenströmens der Luft eintritt. Nichtfrontaler Niederschlag entsteht ausschließlich durch dieses Zusammenströmen und Aufsteigen. Frontaler Niederschlag entsteht, wenn sich eine Luftmasse über eine andere schiebt. Eine Front ist die Grenze zwischen zwei Luftmassen mit unterschiedlichen Temperaturen und Dichten. Arten von Fronten und damit üblicherweise verbundene Niederschlagsformen werden im Folgenden beschrieben.

Eine **Warmfront** entsteht durch das Aufgleiten warmer Luftmassen über kalte Luftmassen. Bewölkung und Niederschlag erstrecken sich über weite Gebiete. Mit dem Näher kommen der Warmfront wird der Niederschlag gleichmäßiger und intensiver.

Warmfronten bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von 15 – 20 km/h.

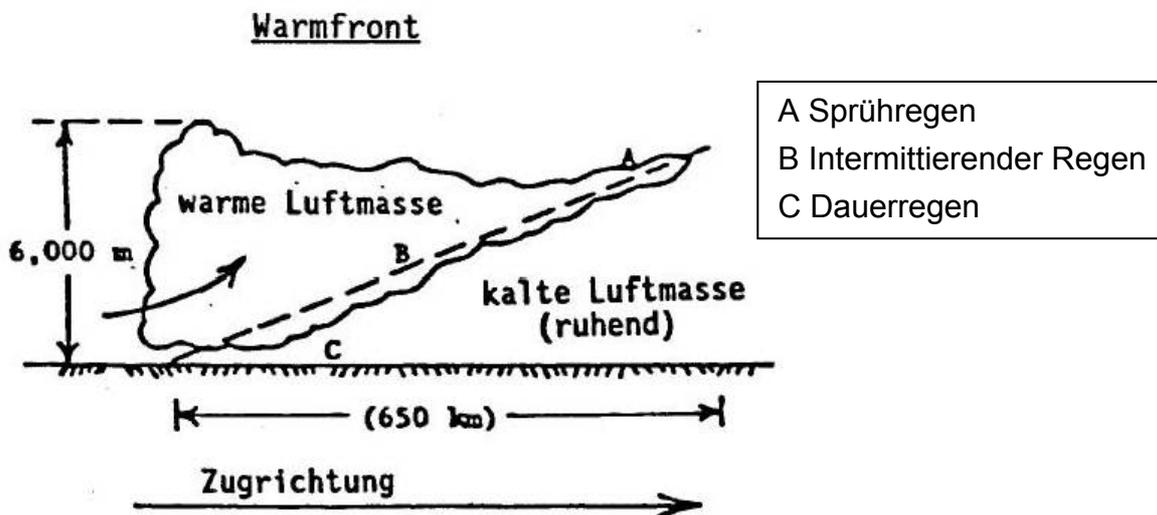


Abb. 2-1 Schema einer Warmfront (Disse, 2003)

Eine **Kaltfront** entsteht, wenn kalte Luftmassen und warme Luftmassen frontal aufeinander stoßen. An der Front türmen sich Wolken auf, die kurze, intensive Niederschläge bewirken. Kaltfronten bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von 30 – 80 km/h.

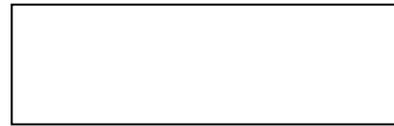
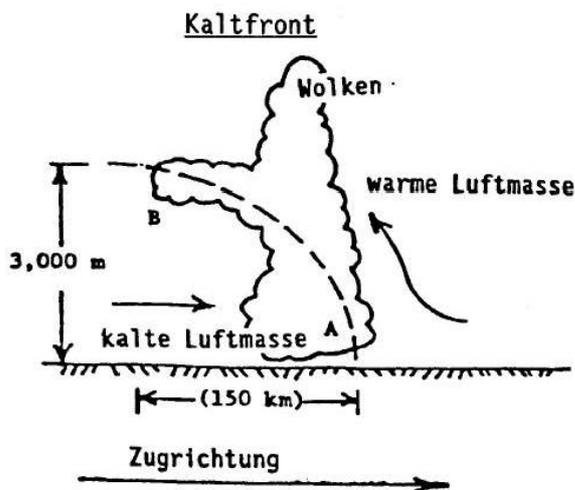
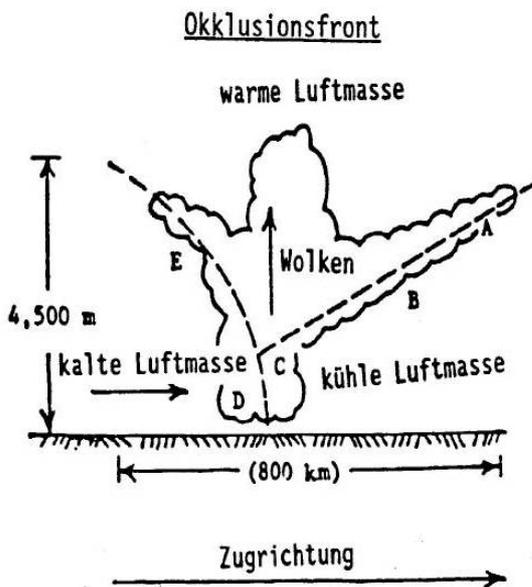


Abb. 2-2 Schema einer Kaltfront (Disse, 2003)

Eine **Okklusionsfront** entsteht, wenn eine Kaltfront eine Warmfront überholt. Die Niederschlagscharakteristik entspricht einer Kombination zwischen Kalt- und Warmfront. Okklusionsfronten bewegen sich mit einer Geschwindigkeit von 8 – 50 km/h.



- A Sprühregen
- B Intermittierender Regen
- C Dauerregen
- D Schauer und Gewitterregen
- E gebietsweise Schauer

Abb. 2-3 Schema einer Okklusionsfront (Disse, 2003)

### 2.1.3.2 Konvektiver Niederschlag

Konvektiver Niederschlag entsteht aus der Aufwärtsbewegung von Luft, die wärmer als ihre Umgebung ist. Der Niederschlag ist schauerartig, kann aber von leichtem Regen bis zu Wolkenbrüchen variieren. Ein typisches Beispiel für konvektiven Niederschlag ist das nachmittägliche Gewitter aufgrund einer Erwärmung der

Atmosphäre durch Sonneneinstrahlung; Gewitter entstehen daher überwiegend im Sommer. Es gibt sie überall auf der Erde, doch sind sie die Hauptform des Niederschlags in den Tropen, wo keine zyklonale Zirkulation herrscht.

Ein **Gewitter** besteht aus sich auftürmenden Wolken, deren oberer Teil normalerweise ambossartig ausgebildet ist. Die vertikalen Luftströmungen entwickeln hohe Geschwindigkeiten. Die schauerartigen Niederschläge sind von starker Intensität und kurzer Dauer.

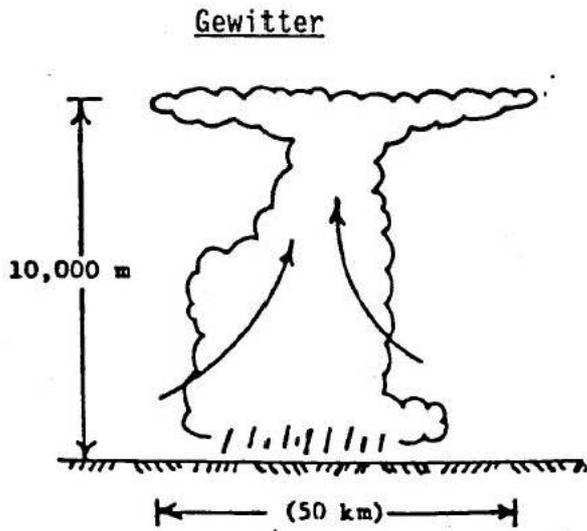


Abb. 2-4 Schema eines Gewitter (Disse, 2003)

### 2.1.3.3 Orographischer Niederschlag

Orographischer Niederschlag wird durch Anheben von Luftmassen über Geländehindernisse hervorgerufen. Solche Hindernisse verstärken häufig zyklonale Niederschläge indem sie die Aufwärtsbewegung der Luft unterstützen. Der Niederschlag ist im Allgemeinen stärker auf der dem Wind zugewandten Seite (Luvseite) als auf der dem Wind abgewandten Seite (Leeseite).

Orographischer Niederschlag, der nicht in Zusammenhang mit zyklonalen oder konvektiven Vorgängen steht, ist in der Regel schwach.

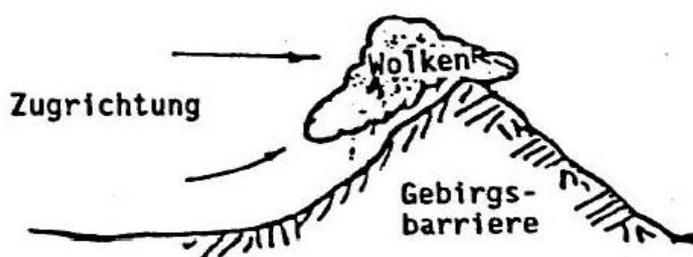


Abb. 2-5 Niederschlagsformen (Disse, 2003)

## 2.1.4 Niederschlagsformen

Die Niederschlagsarten werden nach dem Aggregatzustand und nach der Form, in der sie dem Beobachter erscheinen, bezeichnet.

Im Folgenden die Einteilung der Niederschlagsarten nach Baumgartner & Liebscher (1996) und Heyer (1977):

### 2.1.4.1 Fallender Niederschlag

Das sind Niederschläge, die durch Kondensation oder Sublimation des Wasserdampfes in der Atmosphäre entstehen und dann zur Erde fallen.

#### Flüssige Form

- **Sprühregen (Niesel)**, besteht aus kleinen Wassertropfen, deren Durchmesser unter 0,5 mm bleibt. Dadurch fallen die Tropfen nur sehr langsam aber gleichmäßig und scheinen in der Luft zu "schweben". Sie entstehen durch Kondensation und waren vor dem Herabfallen nicht gefroren. Sprühregen kommt vorwiegend aus Schichtwolken und führt zu sehr geringen Intensitäten.
- **Regen** weist Wassertropfen mit einem Durchmesser zwischen 0,5 und 5,0 mm auf. Großtropfiger Regen kann nur dann entstehen, wenn ein Teil der Regenwolke Temperaturen unter dem Gefrierpunkt aufweist. Beim Durchfallen warmer Luftschichten schmelzen die Eisteilchen und gelangen dann als Wassertropfen verschiedener Größe zum Erdboden.

#### Feste Form

- **Schnee** besteht aus kleinen hexagonalen Kristallen, die bei Temperaturen unter  $-12^{\circ}\text{C}$  durch Sublimation gebildet werden. Das Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnis bei der Bildung der Eiskristalle bestimmt deren Form. Mehrere Eiskristalle wachsen zu Schneeflocken zusammen.
- **Reifgraupel** sind weiße, undurchsichtige, runde - aber nur selten kugelförmige Körner von schneeähnlicher Struktur. Sie haben Durchmesser bis 5 mm und fallen meist schauerartig.
- **Frostgraupel** sind undurchsichtige, runde und nur selten kugelförmige Körner aus gefrorenem Wasser. Sie haben einen Durchmesser zwischen 2 und 5 mm und fallen als kurze Schauer - oft auch mit Regen.
- **Griesel** sind die Vorstufe von Reifgraupel. Sie sind weiße, undurchsichtige, abgeplattete Körnchen von schneeähnlicher Struktur, mit einem Durchmesser kleiner 1 mm.

- **Hagel** ist die Weiterentwicklung der Frostgraupel, da sich bei einem Hagelkorn in kräftigem Aufwind immer neue Schichten anlagern können. Daher besteht ein Hagelkorn aus mehreren Schichten und kann Durchmesser zwischen 5 und 50 mm erreichen.
- **Eiskörnchen** sind durchsichtige bis halbdurchsichtige, kugelförmige oder unregelmäßige, harte Eiskörner mit einem Durchmesser von 1 bis 4 mm. Es handelt sich um Regentropfen, die durch kalte Bodenluftschichten fallen und dabei gefrieren (Glatteisbildung). Eisnadeln sind sehr kleine unverzweigte Eiskristalle in Form von Blättchen oder Stäbchen.

### 2.1.4.2 Abgesetzter Niederschlag

Im Gegensatz zu den fallenden Niederschlägen, die ihre Form in der Luft oberhalb des Erdbodens erhalten, werden die abgesetzten Niederschläge erst an der Erdoberfläche gebildet bzw. erhalten erst dort ihre charakteristische Form.

#### Flüssige Form

- **Tau** entsteht dadurch, dass feste Gegenstände in der Nähe der Erdoberfläche durch Wärmeabstrahlung ausgekühlt werden, wobei der Taupunkt der benachbarten Luft unterschritten wird (Kondensation). Auf diese Weise bilden sich auf dem Gegenstand kleine Wassertropfen. Tau tritt nur bei Windstille auf und bildet sich vorwiegend an horizontalen Flächen.
- **Taubeschlag** wird wie Tau gebildet, lagert sich jedoch vorwiegend an vertikalen Flächen an.

#### Feste Form

- **Reif** bildet sich wie Tau, wenn der Taupunkt unter dem Gefrierpunkt liegt. In diesem Falle tritt anstelle der Kondensation die Sublimation und es bilden sich feine Eiskristalle.
- **Frostbeschlag** wird wie Reif gebildet, lagert sich jedoch vorwiegend an vertikalen Flächen angelagert.

Die Niederschlagshöhen, die in der Nacht durch Tau gebildet werden, sind sehr gering und betragen max. 0,2 bis 0,3 mm/Nacht und werden in der Niederschlagsmessung nicht erfasst.

### 2.1.4.3 Abgefangener Niederschlag

Abgefangener bzw. ausgekämmtter Nebel- oder Wolkenniederschlag entsteht an der Oberfläche. Bei Bergwäldern in höheren Lagen, welche oft in Wolken gehüllt sind, kann diese Art des Niederschlages erhebliche Zusatzintensitäten erzielen.

#### Flüssige Form

- **Nebelniederschlag** sind abgefangene Nebel- oder Wolkentropfen an der Oberfläche.

#### Feste Form

- **Raureif** ist eine Nebelfrostablagerung; das bedeutet, dass zu seiner Bildung Temperaturen unter dem Gefrierpunkt sowie kleine Wassertröpfchen erforderlich sind. Die feinen Eisnadeln, aus denen der Raureif besteht, entstehen in ihren Anfängen durch Sublimation, werden aber dann dadurch vergrößert, dass sich unterkühltes Wasser des Nebels langsam anlagert. Die Bildung und Weiterentwicklung von Raureif ist nur bei geringen Luftbewegungen gegeben.
- **Raufrost** stellt ebenfalls eine Nebelfrostablagerung dar, die im Gegensatz zum Raureif aus kompakten, ballartigen Formen von körniger Struktur bestehen. Die Bildung und Weiterentwicklung von Raufrost ist nur bei stärkeren Luftbewegungen gegeben.
- **Raueis** entsteht bei dichtem Nebel, wenn der Ansatz seine körnige Struktur verliert.

Die Messung des Niederschlages, also der Niederschlagsmenge, beschränkt sich im Allgemeinen auf den fallenden Niederschlag.

### 2.1.5 Niederschlagsarten

Weiter kann der Niederschlag auch nach der Niederschlagshöhe und der Intensität beschrieben werden.

#### 2.1.5.1 Landregen

Landregen ist ein lange anhaltender Niederschlag, der meist nicht großtropfig ist und eine geringe Intensität aufweist. Vielfach wird er durch großräumige Aufgleitvorgänge in der Atmosphäre bedingt (Baumgartner & Liebscher 1996).

### **2.1.5.2 Schauer**

Schauer sind kurz andauernde Regen mit kurzzeitigen Intensitätsänderungen. Schauer fallen meist bei labilen Luftschichten aus Konvektionswolken (Baumgartner&Liebscher1996).

### **2.1.5.3 Starkregen**

Starkregen (Wolkenbruch, Platzregen) sind in Mitteleuropa Niederschläge unter 24 Stunden Dauer, bei denen die Mindestregenmenge

$$h = \sqrt{5 \times t - \left(\frac{t}{24}\right)^2}$$

beträgt, wobei h die Regenhöhe in mm, t die Niederschlagsdauer in Minuten bedeutet.

Starkregen sind an starke Konvektionen gebunden; daher treten sie zusammen mit hohen aufquellender Bewölkung, teilweise auch mit Gewitter auf.

### **2.1.5.4 Dauerregen**

Dauerregen sind Niederschläge mit besonders langer Dauer. Dauerregen sind für den mitteleuropäischen Raum mit einer Dauer von mindestens 6 Stunden Dauer und einer Mindestintensität von 0,5 mm/h definiert (Heyer 1977).

## **2.1.6 Punktniederschlag**

Ist jene Niederschlagshöhe, die durch Niederschlagsmessgeräte an einem bestimmten Ort gemessen wird. Diese wird auch als Stationsniederschlag bezeichnet. Die Dichte des Niederschlagsmessnetzes richtet sich nach der räumlichen Variabilität des Niederschlages (Baumgartner & Liebscher 1996).

## **2.1.7 Gebietsniederschlag**

Die Gebietsniederschlagshöhe eines bestimmten Gebietes und eines bestimmten Bezugszeitraumes ist das Flächenmittel des Niederschlages, der während dieses Zeitraumes auf das Gebiet gefallen ist.

Es gibt zahlreiche Methoden zur Bestimmung und Berechnung von Gebietsniederschlagshöhen: z.B.: Thiessen-Verfahren, Isohyeten-Verfahren, Rasterpunkt-Methode, ect..

## 2.2 Niederschlagsmeßmethoden

### 2.2.1 Allgemeines

Die Niederschlagsmessung ist nicht ganz einfach. Für den flüssigen Niederschlag wird meist ein Gefäß aufgestellt, dessen Öffnungsfläche genau bekannt ist. Der damit gesammelte Niederschlag wird entweder gewogen oder dessen Volumen bestimmt. Das so erhaltene Volumen wird durch die Fläche der Öffnung des Messgerätes dividiert.

Der Niederschlag wird entweder in mm oder in  $l/m^2$  angegeben.  $1 l/m^2$  entspricht dabei 1 mm. Zur Veranschaulichung: Die Niederschlagsmenge ist ein Volumen. Wenn 1 mm Niederschlag auf einen Quadratmeter fällt, entspricht dies einem Volumen von  $1mm * 1m * 1m$  Niederschlag, oder in  $dm^3$ :  $0,01dm / (10dm * 10dm) = 1dm^3$ , was genau einem Liter entspricht, also  $1 l/m^2 = 1 mm$ .

### 2.2.2 Ombrometer

Bei einem Ombrometer (Gattermayer, 2000) handelt es sich um ein zylindrisches Sammelgefäß mit Aufsatz, das nach der Ausführung von Hellmann  $200 cm^2$ , aber in der heute gängigen Ausführung nach Kostlivy  $500 cm^2$  Einfallöffnung aufweist

Mit dem Ombrometer kann Niederschlag gesammelt und in flüssiger Form mittels Messglas mengenmäßig bestimmt werden. Ombrometer stellen auch heute noch die Basisausstattung einer Niederschlagsmessstelle dar.

Mit dem Vordringen der Menschen in die unbesiedelten Regionen der Bergwelt musste das Sammelgefäß derart modifiziert werden, dass Niederschlagsmengen über einen längeren Zeitraum gesammelt werden können, ohne dass dieses überläuft. Daraus resultierten die Totalisatoren.

### 2.2.3 Totalisator

In schwer zugänglichen Gebieten, in denen nicht täglich abgelesen werden kann, werden Totalisatoren (Niederschlagssammler) verwendet, die den gefallenen Niederschlag über eine längere Zeit sammeln (bis zu einem Jahr). Die Verdunstung wird durch eine aufgebrachte Glycerinschicht verhindert. Über eine kleine Einfallöffnung (meist  $200 cm^2$ ) gelangt der Niederschlag in ein konisch aufgeweitetes Sammelgefäß, das im Stande ist, die Niederschlagsmenge eines halben bis ganzen Jahres aufzunehmen. Zweckmäßigerweise wird das Sammelgefäß mittels einer

Gefrierschutzlösung auch für den festen Niederschlag jahresdurchgängig aufnahmebereit gehalten.

Totalisatoren werden auf Grund ihrer abgelegenen Standorte meist nur in größeren Zeitabständen (etwa 1 Monat) von einem Beobachter besucht, der den Niederschlagszuwachs bestimmt.

Die Bedeutung dieser Messungen liegt weniger in der zeitlichen Auflösung des Niederschlagsgeschehens, als viel mehr in der Information über das Niederschlagsdargebot von meist hochgelegenen und besonders im Winter schwer erreichbaren Gegenden, die fernab einer menschlichen Dauerbesiedlung sind. Für den Bau von Speicherkraftwerken mit hochalpinen Einzugsgebieten lieferte dieser Messgerätetyp die Basisinformation für viele wasserwirtschaftliche Fragen.

Maße in mm

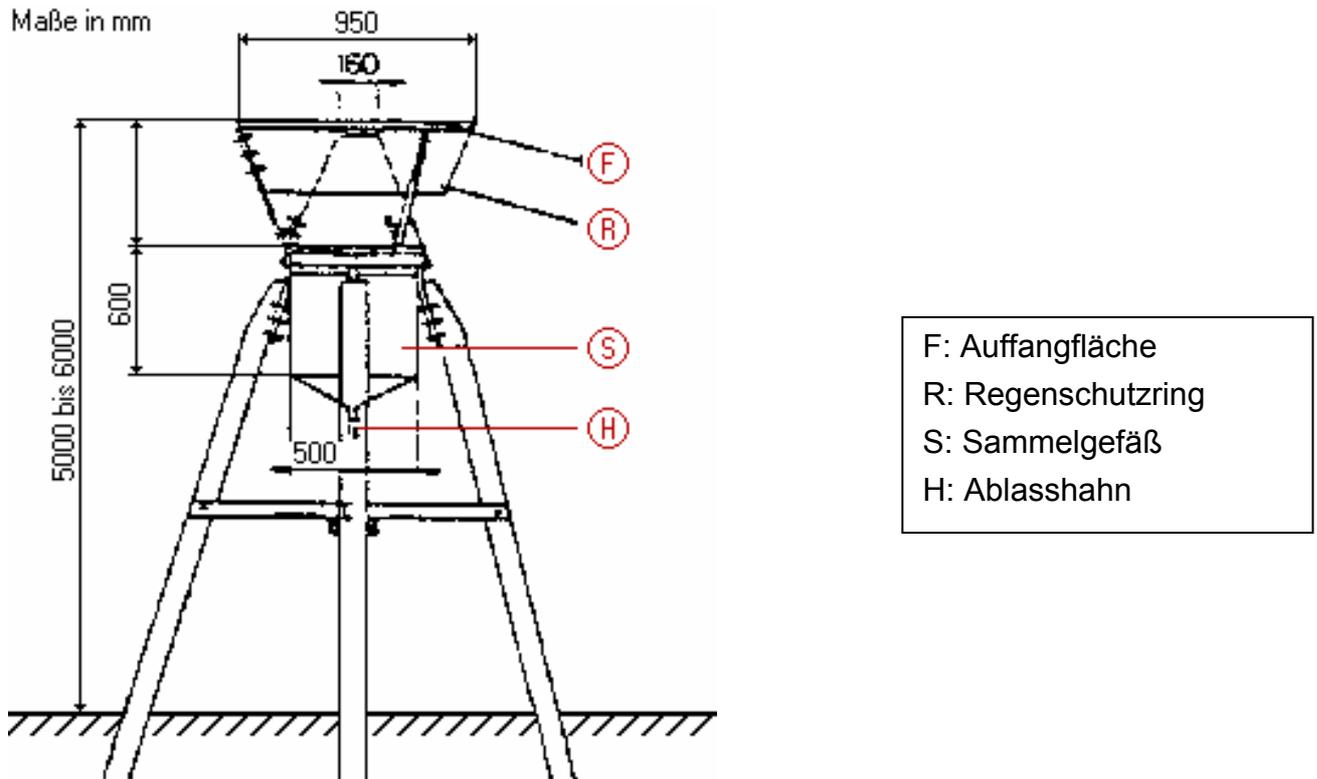


Abb. 2-6 Totalisator- Niederschlagssammler (Dracos 1980)

### 2.2.4 Ombrograph

Eine der vielen Schwierigkeiten, mit denen die Niederschlagsregistrierung verbunden ist, besteht darin, dass bei Temperaturen um  $0^{\circ}\text{C}$  und darunter der Niederschlag von flüssiger in feste Form übergeht, dieser aber lange Zeit nur als Flüssigkeit gemessen werden konnte.

Der häufig auf dem Schwimmerprinzip beruhende Ombrograph setzt flüssigen Niederschlag voraus und hebt nach einem Niederschlagszuwachs bestimmter Menge das Wasser selbsttätig aus, sodass im Normalfall keine Unterbrechung in der

Registrierung erfolgt.

Damit war lange Zeit der Betrieb von Ombrographen nur auf die frostfreie Zeit beschränkt.

Niederschlag in fester Form konnte nicht registrierend erfasst werden.

Maße in mm

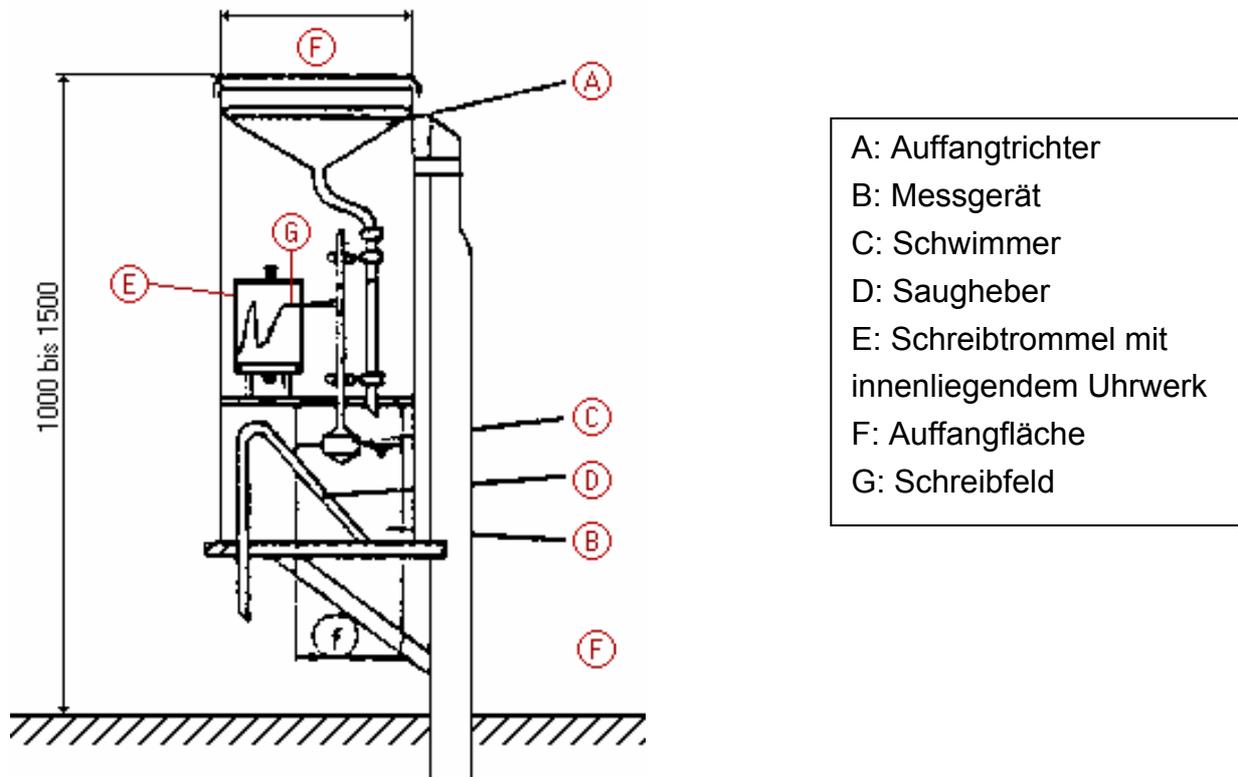


Abb. 2-7 Selbstschreibender Niederschlagsmesser – Ombrograph  
(Draco, 1980)

Mittlerweile stehen auch andere Messverfahren für die kontinuierliche Niederschlagsmessung im Einsatz.

### Gängige Gerätetypen:

- Niederschlagswippen
- Tropfenzähler
- Messzylinder (mit Elektrode und Magnetventil)
- Schwimmergeräte mit und ohne Hebersystem
- Niederschlagswaagen

Das Wägeprinzip zeichnet sich gegenüber den übrigen Messsystemen vor allem dadurch aus, dass es Niederschläge in flüssiger und fester Form praktisch verzögerungsfrei misst und keine Verluste infolge einer sonst notwendigen Heizung kennt.

### 2.2.4.1 Niederschlagswippe

Siehe Kapitel 3 Niederschlagswippe

### 2.2.4.2 Tropfenzähler

Das aus dem Trichter fließende Wasser wird zu Tropfen von möglichst gleicher, bekannter Größe geformt. Die Tropfen werden elektronisch gezählt, dieses Verfahren ermöglicht die Messung in einminütigen Intervallen.

### 2.2.4.3 Messzylinder



Im einfachsten Fall handelt es sich bei dem Sammelgefäß (Abbildung 2-8) um einen Metallzylinder, dessen obere Öffnung  $200 \text{ cm}^2$  groß ist. In dem Metallzylinder befinden sich ein Trichter und darunter ein Sammelgefäß. Mit einem geeichten Messzylinder wird die Niederschlagsmenge mit einer Genauigkeit von  $1/10 \text{ mm}$  bestimmt. Eine Niederschlagshöhe von  $1 \text{ mm}$  entspricht einer Niederschlagsmenge von  $1000 \text{ cm}^3/\text{m}^2$  oder  $1 \text{ l/m}^2$ .

Abb. 2-8 Messzylinder

### 2.2.4.4 Schwimmergeräte mit und ohne Hebersysteme

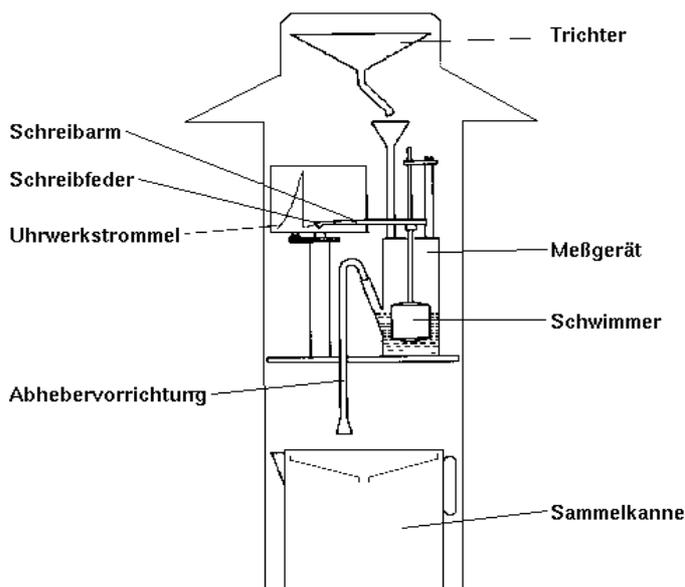


Abb. 2-9 Schwimmergerät mit Heber

Mit dem Schwimmer wird über einen Hebelmechanismus eine Schreibfeder gehoben, die auf einer Trommel die Änderung der Wasserhöhe in dem Meßzylinder als Funktion der Zeit registriert. Ist der Meßzylinder gefüllt, so erfolgt eine automatische Entleerung und die Schreibfeder geht wieder auf den Nullpunkt zurück. Bei dieser Registrierung handelt es sich um die Erfassung des Integralwertes des Niederschlags. Verstellt der Schwimmer nicht eine Feder, sondern ein Potentiometer, so ist

eine Fernübertragung der Niederschlagsintensität möglich.

### 2.2.4.5 Niederschlagswaage



Abb. 2-10  
Niederschlagswaage

Durch eine genormte Öffnung von  $500 \text{ cm}^2$  oben im Außenmantel fällt sowohl der flüssige als auch der feste Niederschlag direkt in ein Auffanggefäß (mit Frostschutzanteil im Winter). Das Auffanggefäß (Volumen  $40 \text{ l} = 800 \text{ mm}$ ) steht direkt auf einer Plattform- Wägezelle, wo die Niederschlagsmenge für die unmittelbare Erfassung abgewogen wird. Es kann das Gesamtgewicht des sich im Auffangbehälter befindlichen Niederschlags sowie die akkumulierte Niederschlagsmenge in  $1/10 \text{ mm}$  angezeigt und gespeichert werden. Bei einem Zuwachs von  $1/10 \text{ mm}$  wird über einen Relaiskontakt ein Impuls ausgegeben. Die Niederschlagsmenge kann automatisch oder händisch auf null gesetzt werden. Bei jeder Zunahme der Niederschlagsmenge wird mit einem Referenzwert verglichen. War die gesamte Zunahme größer als  $5 \text{ g}$ , so wird am Relais ein Impuls ausgegeben und der Zähler der Niederschlagsmenge um 1 erhöht.

Bei einem Trichterdurchmesser der Niederschlagswaage von  $500 \text{ cm}^2$  und einer Gewichtszunahme von  $5 \text{ g}$  entspricht dies einer Niederschlagshöhe von  $1/10 \text{ mm}$ .

Um Schwankungen bei der Messung durch z.B.: Wind zu eliminieren sendet das Wägemodul periodisch  $4,6$  Messwerte pro Sekunde aus und jeder Messwert ist der Mittelwert aus  $128$  Messungen. Zusätzlich ist das Gerät mit einem digitalen Filter mit  $2 \text{ HZ}$  Grenzfrequenz versehen.

**Vorteile** durch die direkte Erfassung der

Niederschläge:

- hohe Messgenauigkeit bei Starkregenereignissen ohne Verluste
- Messung von festem Niederschlag, ohne vorher zu schmelzen
- Kein Verdunstungsverlust durch Schmelzen von festem Niederschlag
- Geringer Energieverbrauch auch im Winterbetrieb

### Einsatz:

- für eine autarke Messung und Erfassung von festem und flüssigem Niederschlag
- für einen Ganzjahresbetrieb auch an schwer zugänglichen Orten ohne Netzversorgung (Solarbetrieb)
- Für den Winterbetrieb ohne den Schnee vorher zu schmelzen

Datum	MEZ	[mm]
08.05.2004	10:20:00	0,2
08.05.2004	10:21:00	0,2
08.05.2004	10:22:00	0,3
08.05.2004	10:23:00	0,3
08.05.2004	10:24:00	0,3
08.05.2004	10:25:00	0,3
08.05.2004	10:26:00	0,3
08.05.2004	10:27:00	0,2
08.05.2004	10:28:00	0,2
08.05.2004	10:29:00	0,1
08.05.2004	10:30:00	0,1

*Tab. 2-1 Ausgabefile der Niederschlagswaage Klusemanngasse*

## 2.2.5 Radar

Das Radar nach Janssen (1998/99) ("radio detecting and ranging") lässt sich zur Erfassung von Niederschlagsgebieten um eine Station heranziehen. Es hat somit den Vorteil gegenüber Niederschlagsmessern, flächendeckend Daten eines großen Gebietes mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung (bis zu 1 km<sup>2</sup> bzw. 5 min) zu liefern. Eine Radarstation hat einen Wirkungsradius von etwa 200 km, so dass sie ein Gebiet von über 100 000 km<sup>2</sup> abdeckt. Radarmessungen werden heute in den USA, Europa und Japan durchgeführt (Maidment 1992).

Ein Radar funktioniert nach folgendem Prinzip: Eine gerichtete Antenne strahlt in Impulsen elektromagnetische Strahlung mit einer Wellenlänge von etwa 3 bis 10 cm (Mikrowellenbereich) ab. Trifft die Strahlung in der Atmosphäre auf einen Partikel, der größer als 0,2 mm ist, so wird sie von diesem reflektiert. Dabei ändert sich die Wellenlänge nicht. Ein Teil dieser Strahlung wird von dem Empfangsgerät des Radars aufgenommen und gemessen, bevor der nächste Impuls ausgestrahlt wird. Die Zeit zwischen ausgesandtem Impuls und dem dazugehörigen Echo entspricht also der, die die Strahlung benötigt, um die doppelte Entfernung zum reflektierenden Gegenstand zurückzulegen. Die Strahlung bewegt sich mit Lichtgeschwindigkeit, so dass sich der Abstand berechnen lässt.

Die reflektierenden Partikel sind hierbei die Wassertröpfchen und Eiskristalle. Nach

Sumner ist es jedoch noch problematisch, die Stärke des Echos richtig zu interpretieren. Sie ist abhängig von der normalen Tropfengröße, der Tropfengrößenverteilung, der Anzahl von Tropfen pro Volumeneinheit, ihrer Form sowie davon, ob es sich um festen oder flüssigen Niederschlag handelt. Außerdem muss der Unterschied zwischen der Höhe, in der das Radar misst, und dem Boden berücksichtigt werden - denn durch Verdunsten oder Koaleszenz (Zusammenwachsen von Tröpfchen) kann sich die Tropfengröße ändern. Daher ist immer eine Kalibrierung der Radarwerte mit Daten von Niederschlagsmessern nötig. Fernerkundungsdaten sind noch nicht genau genug, um Bodenmessgeräte zu ersetzen, sie können jedoch zur Vorhersage herangezogen werden (Sumner 1988; Dalezius 1990).

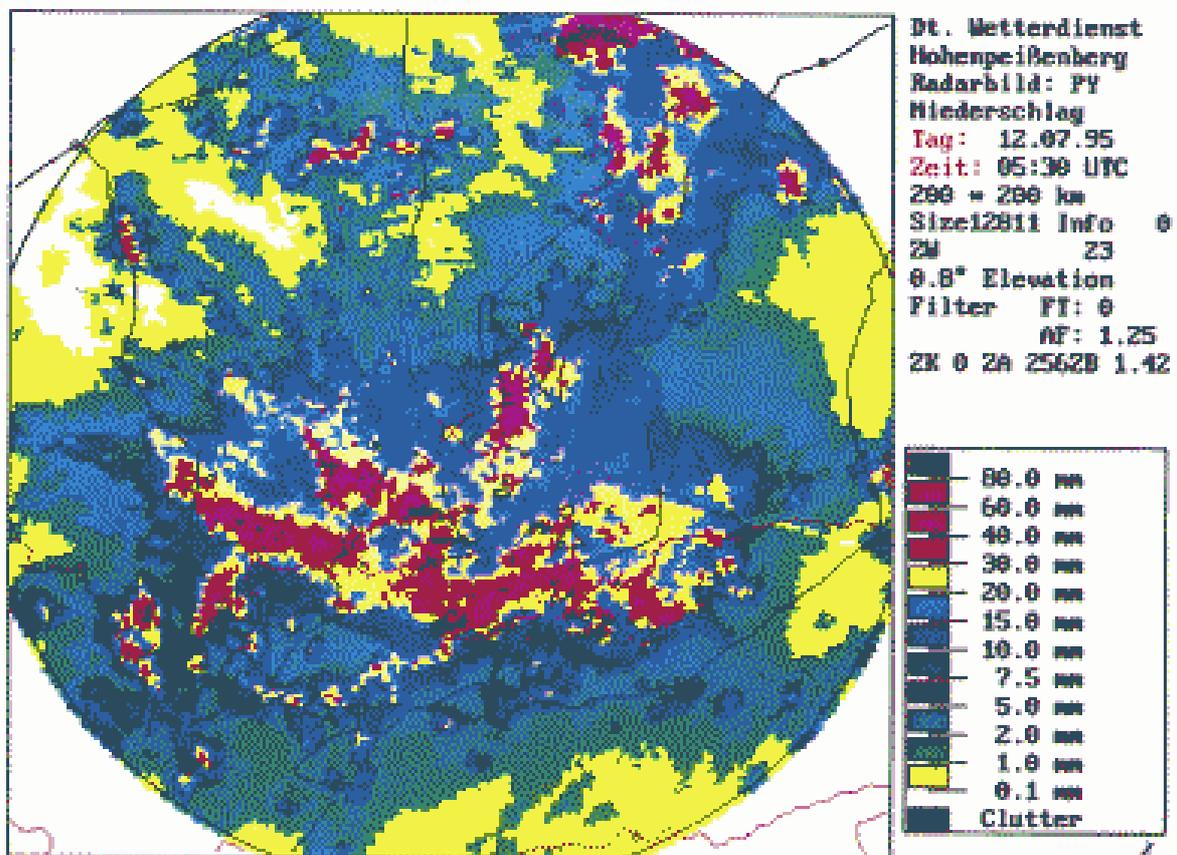


Abb. 2-11 24h Niederschlag vom 12.07.1995, 07.30 MESZ vom Hohenpeißenberg (Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft)

Die Abbildung zeigt die vom Radargerät in einem Umkreis von 200 km um die Radarstation Hohenpeißenberg erfassten Flächenniederschläge in 24 h. Zuerst müssen die Festechos von Bergen und Gebäuden mit Hilfe des Dopplereffektes aus dem Radarbild entfernt werden. Danach wird die Radarreflektivität in Niederschlagshöhen (mm) umgerechnet. Diese Berechnung wird mit den Werten von ca. 60 online messenden automatischen Boden-Niederschlagsmessern pro

Radargerät geeicht, um auf diese Weise sofort verfügbare Flächenniederschläge zu erhalten.

### 2.2.6 Satellitenbilder

Satellitenmessungen stellen nach Janssen (1998/99) das einzige systematische Mittel dar, Niederschläge über den Ozeanen und damit drei Vierteln der Erdoberfläche zu bestimmen. Satellitenbilder sind die Hauptquelle für Langzeitbeobachtungen von Niederschlägen und globalem Klimawandel. Im Gegensatz zum Radar ist der Satellit ein passives Fernerkundungssystem, welches die Menge und Wellenlängenverteilung von emittierter und reflektierter Sonnenstrahlung misst. Die Interpretation der Bilder erfolgt mit verschiedenen Ansätzen (nach Sumner 1988): Erstens wird versucht, die Morphologie der Wolken zu bestimmen, um auf diese Art und Weise mögliche niederschlagspendende Wolken zu identifizieren. Mit Daten eines geostationären Satelliten besteht die Möglichkeit, die zeitliche Veränderung der vertikalen Ausdehnung der Wolke zu beobachten, was insbesondere für konvektive Bewölkung nützlich ist. Außerdem werden Bilder im infraroten und im sichtbaren Bereich gemeinsam ausgewertet. Infrarot-Bilder geben die vom Satelliten gemessene Strahlung im Wellenlängenbereich von 0,7 bis 14  $\mu\text{m}$  wieder. Mit dem Gesetz von Stefan-Boltzmann, das einen Zusammenhang zwischen der Temperatur eines Körpers und der Wellenlänge der von ihm ausgesandten Strahlung herstellt, lässt sich dann die Temperatur, die sogenannte "brightness temperature", der Wolkenoberfläche bestimmen. Aus der Verbindung von Oberflächentemperatur und Wolkenhöhe lässt sich dann eine Aussage über die Art der Wolken und damit die Niederschlagswahrscheinlichkeit treffen. Die genauen Zusammenhänge sind allerdings noch umstritten. Mit Hilfe von Satelliten lässt sich also grob eine Niederschlagsmenge mit einer geringen räumlichen und zeitlichen Auflösung abschätzen, genaue Daten sind aber nicht zu erhalten. Es ergibt sich auch das Problem, dass nur eine indirekte Bestimmung erfolgen kann, da die Erdoberfläche ja von den Wolken verdeckt wird.

## **2.2.7 Fehler bei der Niederschlagsmessung**

Fast jedes Land setzt seine eigenen Niederschlagsmessgeräte ein. Die Regenmessung ist technisch unproblematisch. Es ist aber leider jede Regenmessung mit Fehlern behaftet:

### **2.2.7.1 Windfehler**

Jeder Regenschirm beeinflusst das Windfeld. Es treten Turbulenzen auf, die kleine Tropfen verwirbeln, so dass nur die größeren Tropfen in das Gefäß fallen. Je stärker der Wind, desto größer der Fehler. In Mitteleuropa ist der Windfehler im Sommer kleiner als im Winter, da der Niederschlag im Schnitt im Sommer größere Tropfen aufweist (Gewitter). Der Windfehler ist abhängig von der Form des Regenschirms und von der Höhe, in der das Gerät aufgestellt wird. Wird der Regenschirm in den Boden eingelassen, dann wird der Windfehler minimiert.

### **2.2.7.2 Haftwasser**

An den Wänden des Messers bleibt Wasser haften (Adhäsion), das nicht gemessen wird. Der Haftwasserfehler ist abhängig vom Querschnitt, von der Form, der Größe, dem Material, der Farbe und dem Alter des Messgerätes.

### **2.2.7.3 Verdunstungsfehler**

Regenwasser kann auch verdunsten. Je häufiger das Auffanggefäß geleert wird, desto geringer wird dieser Fehler. Dieser Fehler ist weiter abhängig vom Querschnitt, der Farbe, dem Material, dem Alter, von der Isolation und der Aufstellhöhe des Messgerätes.

### **2.2.7.4 Spritzer**

Spritzer - also Tropfen, die von der Umgebung abprallen und in den Messbehälter fallen oder vom Messbehälter nach außen spritzen, verursachen auch Messfehler. Dieser Fehler ist abhängig von der Niederschlagsintensität, der Windgeschwindigkeit, der Messhöhe und der Installationsart des Gerätes. Bodenebene Geräte haben einen höheren Spritzwasserfehler als Geräte auf einer Messhöhe von 2 m.

Messfehler können bis 30 % ausmachen, wobei der Windfehler den größten Einfluss hat. Vor allem im Hochgebirge lässt sich dieser Fehler kaum vermeiden, trotz Windschutzring. Denn in diesen Gegenden fällt ein Grossteil des Niederschlags als Schnee, der viel leichter verweht wird.

## 3 Niederschlagswippe

### 3.1 Allgemeines

Wippengeräte sind die populärsten Messinstrumente, die von vielen nationalen hydrographischen und meteorologischen Diensten verwendet werden. Hohe Genauigkeit der Werterfassung im niedrigen bis mittleren Intensitätsbereich und ein hervorragender Mechanismus des Schaltsystems, Zuverlässigkeit sowie eine gute Eignung für Fernaufzeichnung sowie Zuverlässigkeit zeichnen diese Messgeräte aus. Niederschlagswippen sind jedoch für die Unterschätzung von Niederschlägen mit hoher Intensität und auch für den Wasserverlust während der Bewegung der Wippe (Marsalek, 1981) bekannt.

### 3.2 Aufbau der Wippe

**Einlauftrichter:** Der Einlauftrichter ist über den Einlauftring am Gehäuse befestigt. Die Auffangfläche des Einlauftrichters beträgt  $500 \text{ cm}^2$  und besteht aus Metall.

**Wippe:** Die Kunststoffwippe hat eine Größe von  $5 \text{ cm}^3$  und ist in einer Richtung beweglich befestigt. Die Auflösung der Wippe ergibt sich durch die Einlauftrichtergröße und die Wippengröße mit  $0,1 \text{ mm}$ .

**Einstellnocke:** Die Einstellnocke dient zum Stoppen der Wippe nach dem Umschlag, sie ist in der vertikalen Ebene verstellbar. Somit kann mit ihr der Zeitpunkt des Wippenumschlages eingestellt werden.

**Reedkontakt:** Ein Reed Kontakt besteht aus zwei Metallzungen (reed = engl. Zunge), die übereinander in einem Glasgehäuse untergebracht sind. Nähert man sich mit einem Magnet dem Glasgehäuse werden die Zungen durch die Magnetkraft zusammengezogen und stellen eine elektrische Verbindung her.

### **Heizung:** (medas)

Die Heizung des Niederschlagsmessgeräts besteht aus drei gesteuerten Heizkreisen:

- Trichterheizung
- Innenraumheizung
- Einlaufheizung

Jeder Heizkreis wird mit Temperaturfühlern überwacht. Die Heizung ist mit selbstregelnden Heizelementen ausgestattet.

Die Vorteile dieses Systems sind:

- Schutz vor Überhitzung
- Verringerung von Verdunstungsverlusten
- Optimale Energienutzung
- Rasche Regelung in Abhängigkeit zur Außentemperatur

**Datenaufzeichnung:** Diese ist im Schaltschrank angeordnet und beinhaltet:

- Einschub für die Memory-Card
- Funktionsanzeige
- Bedienungsfeld
- 12V Gleichspannungsversorgung

**Sammelgefäß:** Ist ein einfacher Kunststoffbehälter mit einem Fassungsvermögen von 10 l, dies entspricht einer Niederschlagshöhe von 200 mm.

Der Montagefuß wurde in einem Betonfundament fest verankert.

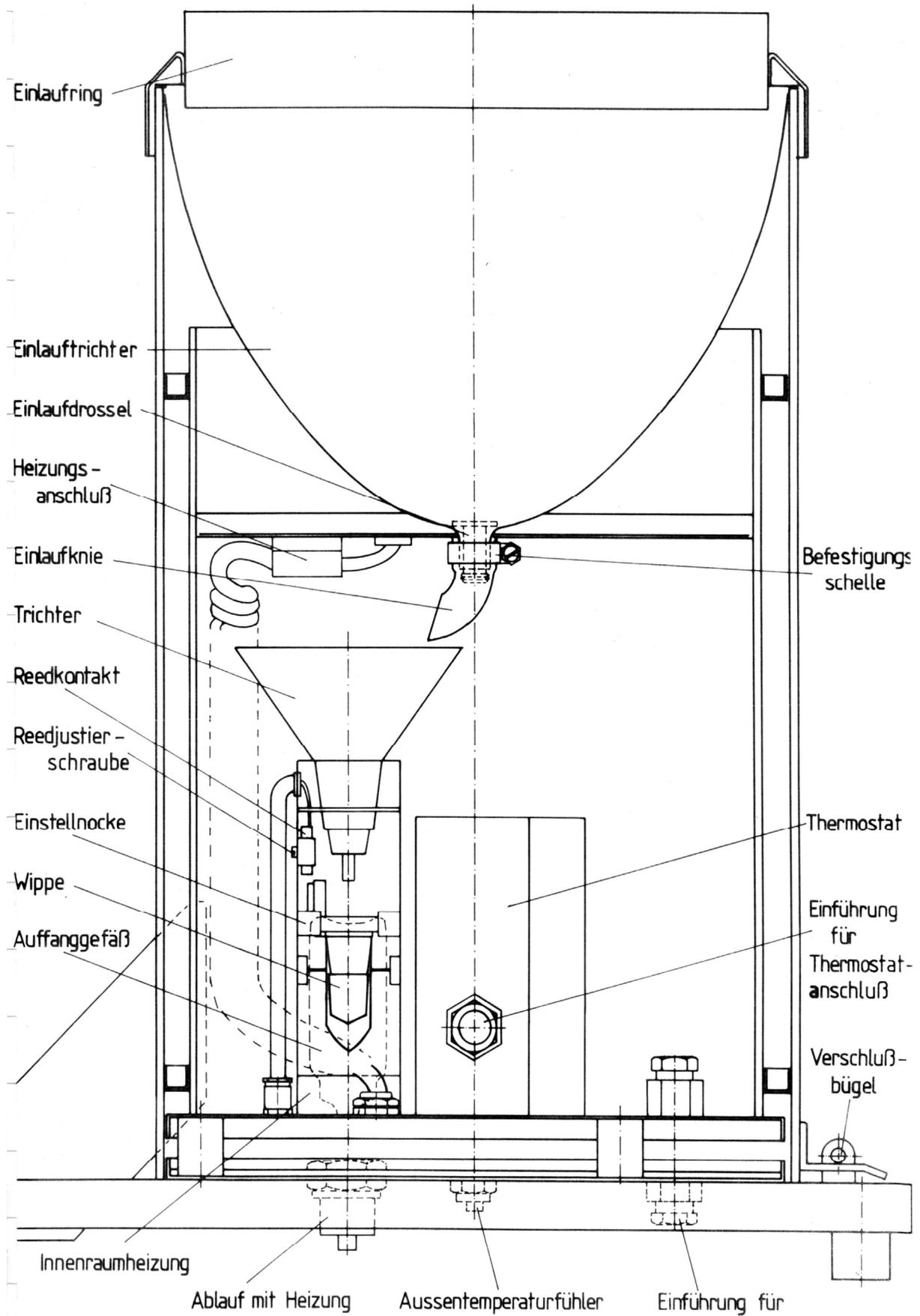


Abb. 3-1 Niederschlagswippen Detail (MEDAS)

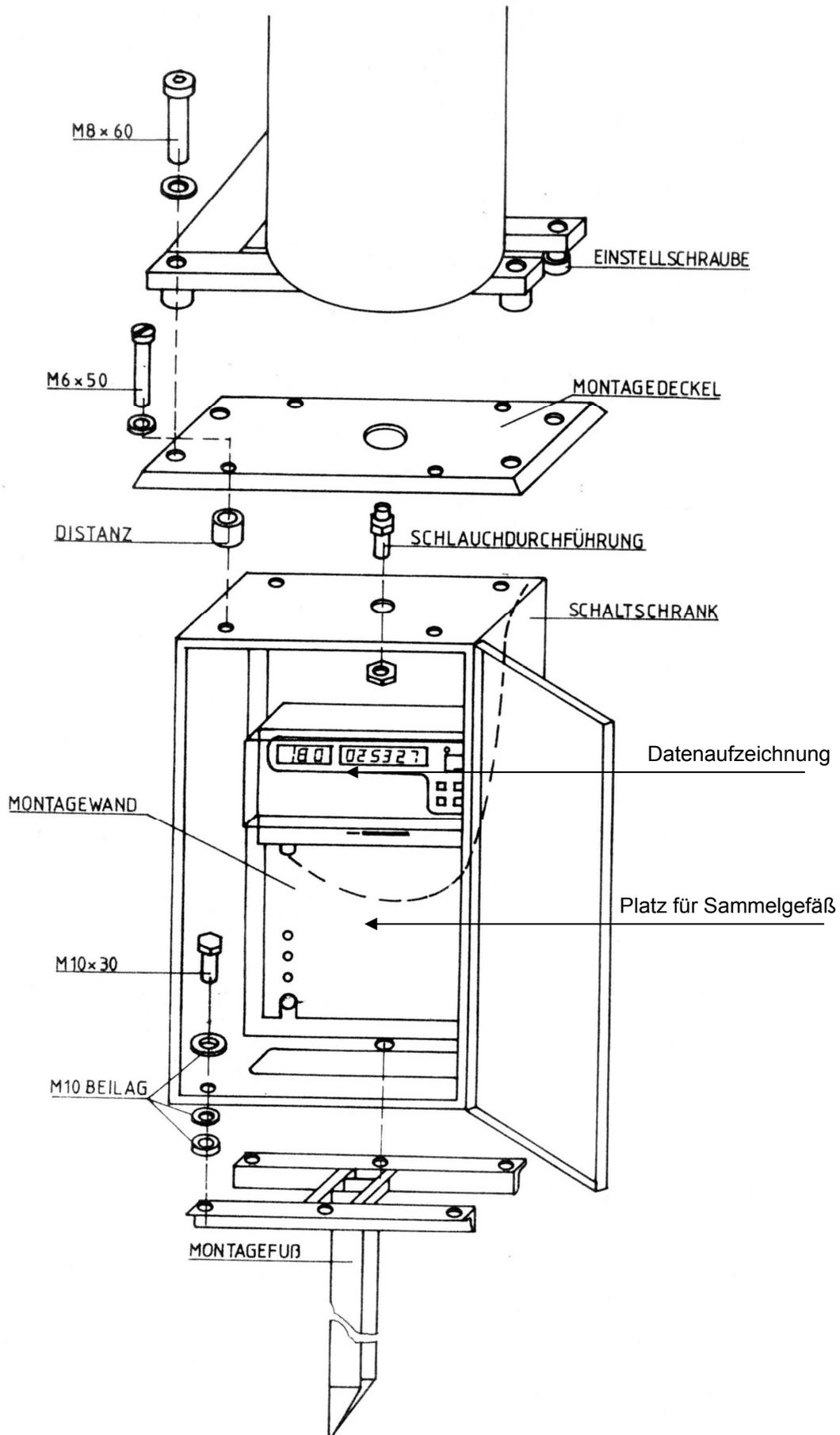


Abb. 3-2 Niederschlagswippenunterbau (MEDAS)

### 3.3 Funktionsweise

Der Niederschlag gelangt über die 500 cm<sup>2</sup> große Auffangfläche über dem Auffangtrichter zur Einlaufdrossel und über das Einlaufknie in den Trichter. Der aufgefangene Regen tropft nun je nach Intensität in die Wippenschale. Beim Erreichen des Wippeschaleninhaltes von 5 cm<sup>3</sup> kippt die Wippe durch das Gewicht des Wassers um. Während des Kippvorganges wird der Reedsensor berührungslos geschlossen und geöffnet. Die Pulsformelektronik sendet während der Kippbewegung einen +12 Volt Rechteckpuls mit der Pulslänge von etwa 0,1 Sekunden an das Kalibriergerät und das Meßsystem des Niederschlagsmessgerätes.

Der Tag und die Tagessekunde (MEZ) des Pulses werden dann auf einer im Messsystem integrierten RAM-Speicherkarte aufgezeichnet.

*Tab. 3-1 Ausgabefile vom Meßsystem*

Datum	MEZ	[mm]
09.04.2004	18:37:49	0,1
09.04.2004	18:52:46	0,2
09.04.2004	19:00:02	0,3
09.04.2004	19:03:54	0,4
09.04.2004	19:05:01	0,5
09.04.2004	19:05:54	0,6
09.04.2004	19:06:38	0,7
09.04.2004	19:10:13	0,8
09.04.2004	19:17:57	0,9
09.04.2004	19:28:28	1,0

Während sich die Kippschale nach der Kippung leert, füllt sich die zweite solange, bis erneut die Wassermenge von 5 cm<sup>3</sup> erreicht ist und kippt.

Die Wippenschalen entleeren sich in ein Auffanggefäß und werden weitergeleitet in einen Sammelbehälter. Der Sammelbehälter wird in bestimmten Zeitabständen von geschultem Personal geleert und das Volumen des im Sammelbehälter befindlichen Wassers bestimmt. Die ermittelte Wassermenge und die Anzahl der Wippungen, welche über die Auflösung der Wippe (0,1 mm/ Wippung) in eine Niederschlagshöhe umgerechnet werden kann, liefern eine erste Aussage über die Funktionstüchtigkeit der Niederschlagswippe.

### 3.4 Aufstellung

Zwei Wippen gleicher Bauart wurden in einem Abstand von zwei Metern in einer Höhe von 1,0 m bei der Bertha von Suttner Friedensbrücke aufgestellt.

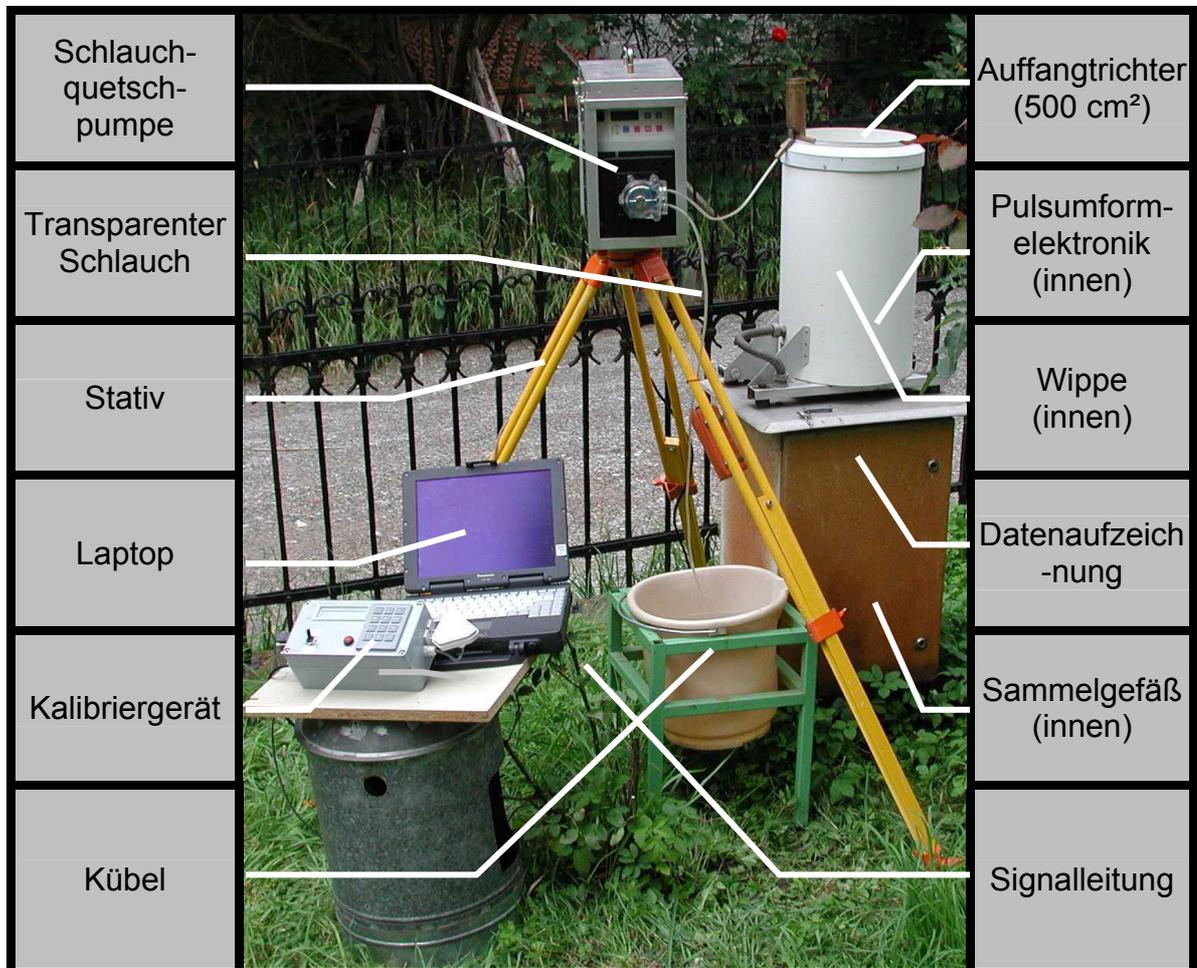


Abb. 3-3 Lageplan der beiden Wippen bei der Bertha von Suttner Friedensbrücke

## 4 Kalibrierarten

### 4.1 Statische Kalibrierung

#### 4.1.1 Vorbereitung

Vor dem Beginn der Durchführung der statischen Kalibrierung sollte sichergestellt werden, dass die Wippe korrekt justiert ist.

Weiter sollte die verwendete Pipette im Labor ebenfalls kalibriert werden um das geforderte Volumen von  $5 \text{ cm}^3$  sicherstellen zu können.

Die Wippschalen müssen vor der Durchführung gründlich gereinigt und getrocknet werden.

Versuchsanordnung siehe Abb. 4-1.

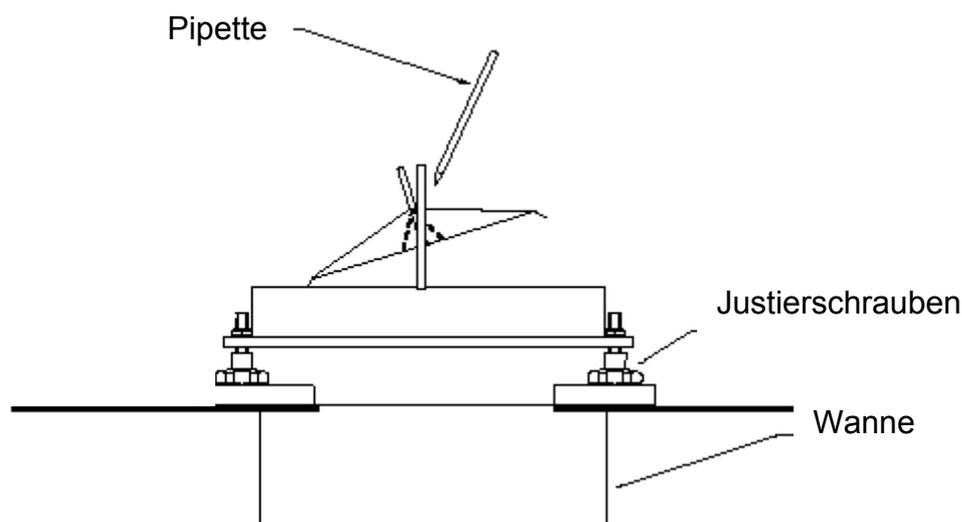


Abb. 4-1 Versuchsanordnung für die statische Kalibrierung (Cambell, 2000)

#### 4.1.2 Versuchsdurchführung

Die Pipette wird mit  $5 \text{ cm}^3$  Wasser gefüllt, das langsam auf eine der Wippschalen getropft wird. Der Umschlag der Wippe sollte genau beim Auftreffen des letzten Tropfens auf die Wippschale erfolgen. Ist dies nicht der Fall kann über die Justierschrauben leicht nachgebessert werden. Dieser Vorgang wird bei der anderen Wippschale wiederholt.



Abb. 4-2 Versuchsanordnung

Es sollte darauf geachtet werden, dass die beiden Wippenschalen bei der gleichen Wassermenge umschlagen. Die statische Kalibrierung dient nur zu einer besseren Justierung der Wippe.

## 4.2 Dynamische Kalibrierung

### 4.2.1 Dynamische Kalibrierung mit konstanter Druckhöhe

#### 4.2.1.1 Vorbereitung

Vor dem Beginn der Durchführung der dynamischen Kalibrierung sollte sichergestellt werden, dass die Wippe korrekt justiert ist.

Die Wippeschalen müssen vor der Durchführung gründlich gereinigt und getrocknet werden.

Versuchsanordnung siehe Abb. 4-4.

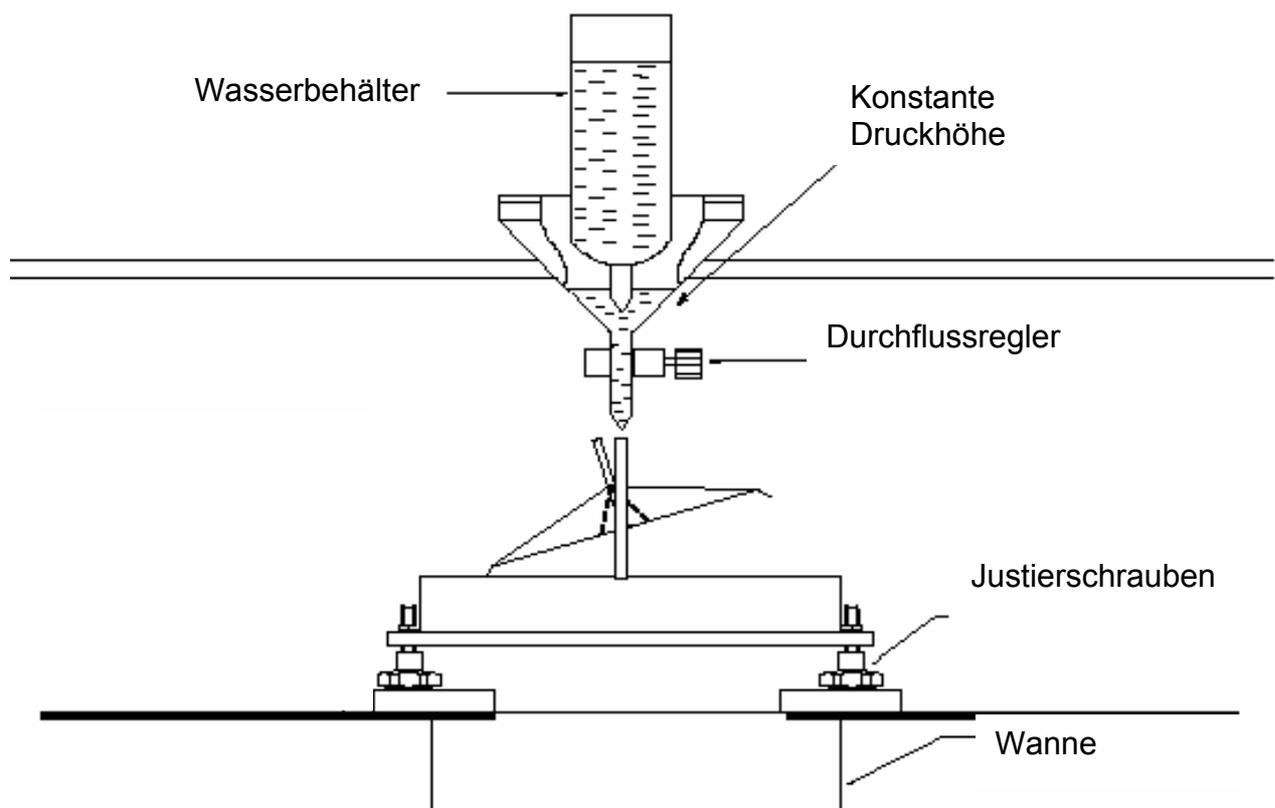


Abb. 4-3 Anordnung für die dynamische Kalibrierung mit konstanter Druckhöhe (Cambell, 2000)

### 4.2.1.2 Versuchsdurchführung



Der Wasserbehälter wird mit einer beliebigen Wassermenge gefüllt oder während der gesamten Versuchsdauer ständig mit Wasser befüllt. Vor dem Öffnen des Durchflussreglers ist sicherzustellen, dass der an die Wippe angeschlossene Zähler auf Null gestellt ist.

Die Regelung des Durchflusses und somit die Intensität wird über den Durchflussregler gesteuert. Das Erreichen einer bestimmten Intensität erfordert ein gewisses Feingefühl und etwas Übung.

Die Zeit zwischen dem Auftreffen des ersten Tropfens auf die Wippenschale und der letzten Wippung wird mit einer Stoppuhr gemessen. Die Anzahl der Wippungen ist am Zähler abzulesen, sie sollte zwischen 50 und 150 liegen und stellt den Ist-Wert dar.

Nach der letzten Wippung wird das Volumen des - unterhalb der Wippe in einem Sammelbehälter aufgefangenen - Wassers bestimmt. Dies erfolgt mit einem einfachen Messzylinder. Das Volumen des gemessenen Wasser wird über die Auflösung der

Abb. 4-4 Versuchsaufbau

Wippe (0,1 mm/ Wippung) in eine Niederschlagshöhe umgerechnet. Das ermittelte Volumen stellt den Sollwert dar. Dieser Versuch wird für verschiedene Intensitäten mehrmals wiederholt. Mit der gemessenen Zeit der Anzahl der Wippungen und der Wassermenge können dann die Soll- bzw. die Ist-Intensität berechnet werden. 100 Wippungen bei einer Wippe mit einer Auflösung von 0,1 mm/ Wippung entsprechen einer Niederschlagshöhe von 10 mm.

Wippe 1	Zeit			Summe [min]	gemessen		berechnet	
	[min]	[sec]	[hsec]		Soll-Wert [mm]	Ist-Wert [mm]	Ist-Int. [mm/min]	Soll-Int. [mm/min]
1	71	54	40	71,9667	9,8	10	0,1390	0,1362
5	16	27	66	16,5600	6,7	6,9	0,4167	0,4046
7	11	14	54	11,3233	7,8	7,6	0,6712	0,6888
2	14	24	62	14,5033	10,9	10,8	0,7447	0,7516
6	7	9	25	7,1917	14,2	13	1,8076	1,9745
4	6	26	28	6,4800	14,7	13,5	2,0833	2,2685
3	5	6	6	5,1100	13	11,8	2,3092	2,5440

Tab. 4-1 Auszug aus den Messwerten der Wippe 1 zweite Messung

## 4.2.2 Dynamische Kalibrierung mit konstantem Durchfluss

### 4.2.2.1 Versuchsanordnung

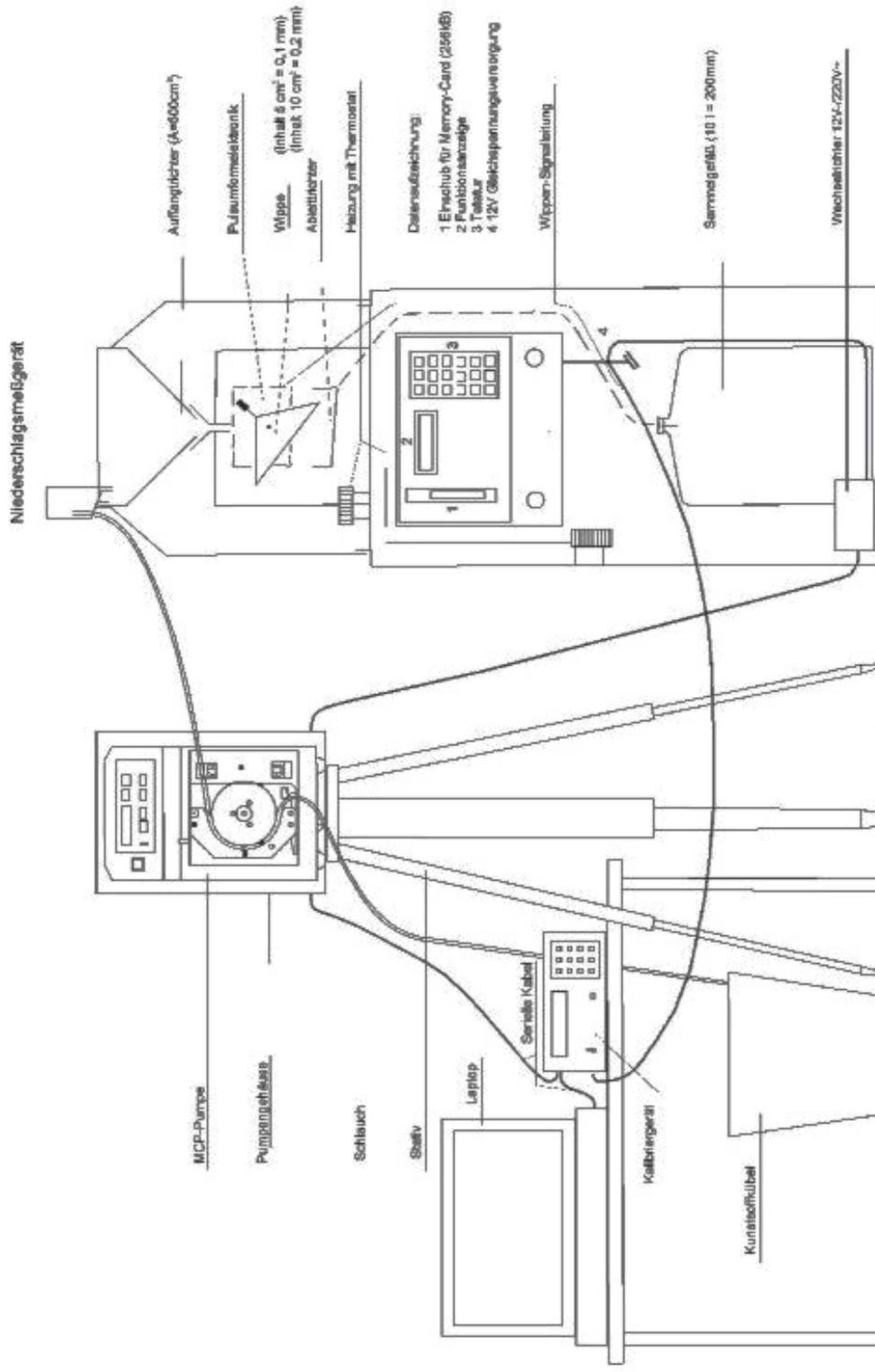


Abb. 4-5 Versuchsanordnung Hable O.(2000)

### 4.2.2.2 $\mu$ P- gesteuerte Peristaltikpumpe

Zur Peristaltikpumpe Diplomarbeit (Pregartner, 1999) und Betriebsanleitung der Schlauchpumpe(ISMATEC, 1993)

#### 4.2.2.2.1 Allgemeines



Die Peristaltikpumpe der Firma ISMATEC ist eine vielseitig einsetzbare Pumpe, die je nach Wahl des Pumpensystems zum Dosieren als auch zum Fördern bestens geeignet ist. Sie dient der Einstellung und kontinuierlichen Förderung eines zeitlich konstanten Durchflusses (Sollwert  $i_0$  der Niederschlagsintensität).

Schlauchquetschpumpen gehören zu den dichtungslosen Pumpensystemen. Die zu pumpende Flüssigkeit kommt nur mit dem Schlauch in Berührung, welcher auswechselbar ist. Die Schlauchpumpe ist ventillos und trotzdem selbst ansaugend. Die Durchflusskennlinie der Peristaltikpumpe, welche nur für den Niederdruckbereich verwendet wird, ist bis ca. 1,5 bar konstant und geht dann mit zunehmendem Druck gegen Null. Die Bedienung der Pumpe erfolgt über das Bedienungsfeld an der Vorderseite der Pumpe.

*Abb. 4-6  $\mu$ P- gesteuerten Schlauchpumpe der Firma ISMATEC*

#### 4.2.2.2.2 Funktionsprinzip

Funktionsprinzip der Peristaltikpumpe beruht auf dem Abdrücken oder Abquetschen eines flexiblen Pumpenschlauches an einer oder mehreren Stellen und durch Bewegung der abgedrückten Stelle in gewünschter Förderrichtung der Flüssigkeit. Das zwischen den Quetschstellen befindliche Wasser wird so von der Saug- zur Druckseite gefördert. Hinter der gequetschten Stelle richtet sich der Schlauch wieder auf und erzeugt so einen Unterdruck. Dieser Unterdruck sorgt für ein erneutes

Ansaugen von Wasser. Die Größe des Unterdruckes ist abhängig von der Elastizität des Schlauches.

Die Bewegung der abgedrückten Stelle wird mit Hilfe eines Pumpenkopfes realisiert, an dessen Umfang sich drei walzenförmige Rollen befinden. Die Pumpenkopfdrehzahl (Bewegungsgeschwindigkeit der abgedrückten Stelle) und der Schlauch-Innenquerschnitt des Pumpenschlauchs bestimmen die Förderleistung.

Die Fördermenge der Schlauchquetschpumpe wird wesentlich von folgenden Faktoren beeinflusst:

- Schlauchinnendurchmesser
- Schlauchelastizität
- Anzahl der Rollen
- Gegendruck
- Drehzahl des Pumpenkopfes

- ***Schlauchinnendurchmesser***

Um eine möglichst hohe Rückstellkraft des Schlauches zu erreichen, muss das Verhältnis der Schlauchwandstärke zum Schlauchinnendurchmesser möglichst groß sein. Dieses Verhältnis soll mindestens 1:3 sein, um eine ausreichende Saugleistung zu gewährleisten.

- ***Schlauchelastizität***

Die Schlauchelastizität beeinflusst wesentlich den erreichbaren Unterdruck. Wenn der Schlauch bis zum neuerlichen Zusammendrücken seinen ursprünglichen Querschnitt noch nicht erreicht hat, wird der folgende Schlauchabschnitt nicht vollständig gefüllt und es verringert sich somit die Fördermenge.

Im linearen Druck-Förderbereich lässt sich die Fördermenge steigern, wenn es die Elastizität des Schlauches zulässt.

- ***Anzahl der Rollen***

Auch die Anzahl der Rollen beeinflusst maßgeblich die Fördermenge, da jede zusätzlich Rolle das vorhandene Schlauchvolumen verringert.

Mehrere Rollen haben jedoch den Vorteil, dass das gepumpte Wasser wesentlich gleichmäßiger aus dem Schlauch austritt. In der durchgeführten Versuchsanordnung wurde ein Pumpenkopf mit drei Rollen verwendet.

- ***Gegendruck***

Der Förderdruck hängt primär von der Schlauchwandstärke, vom Schlauchwerkstoff und dessen Aufbau ab. Es ist jedoch die Grenze erreicht,

wenn der Anpressdruck der Rollen nicht mehr ausreicht und somit das Zurückfließen des Wassers nicht mehr verhindert werden kann.

- **Drehzahl des Pumpenkopfes**

Mit einem Erhöhen der Drehzahl steigt der Durchfluss. Der Pumpbetrieb erlaubt eine gestufte Regelung der Drehzahl von 0-200 U/min mit der kleinsten Schrittweite von 1 U/min.

### 4.2.2.2.3 Stromversorgung

Ein Stromumwandler, welcher den Strom von 12 V auf 220 V umwandelt, sichert die Stromversorgung des Pumpenbetriebes auch im Gelände, sofern kein Anschluss an das 220V Netz zur Verfügung steht.

### 4.2.2.2.4 Schläuche

Für die Kalibrierung wurden für den Intensitätsbereich 0–1 mm/min der Schlauchtyp B, mit einem Innendurchmesser von 1,6 mm und einem Außendurchmesser von 4,8 mm, verwendet.

Für den Intensitätsbereich von 1-7 mm/min kam der Schlauchtyp E, mit einem Innendurchmesser von 6,4 mm und einem Außendurchmesser von 9,6 mm zum Einsatz.

Es werden transparente Tygon- Pumpschläuche verwendet.

Die Lebensdauer der Schläuche ist von Parametern wie der Temperatur, dem Druck und der Viskosität des Schlauches abhängig. Tygon-Pumpschläuche sind in einem Temperaturbereich zwischen -45 und +65 C verwendbar. Die Lebensdauer ist druckabhängig und beträgt bei 0 bar 300 Tage, 200 Tage bei 0,7 bar und 169 Tage bei 1,4 bar.

### 4.2.2.2.5 Kalibrierkurven der Pumpe

Trotzdem die Fördermenge in Abhängigkeit der Umdrehung und der verschiedenen Schlauchtypen vom Hersteller angegeben wird, wurde das Förderdiagramm der beiden Schlauchtypen B und E vor Beginn der Kalibrierung vor Ort noch einmal ermittelt.

Wie folgende Abbildungen zeigen, liegen die Messwerte nicht exakt auf einer Geraden - die Abweichungen von der Geraden sind jedoch gering und auf die unterschiedlichen Bedingungen im Labor und beim Feldversuch zurückzuführen.

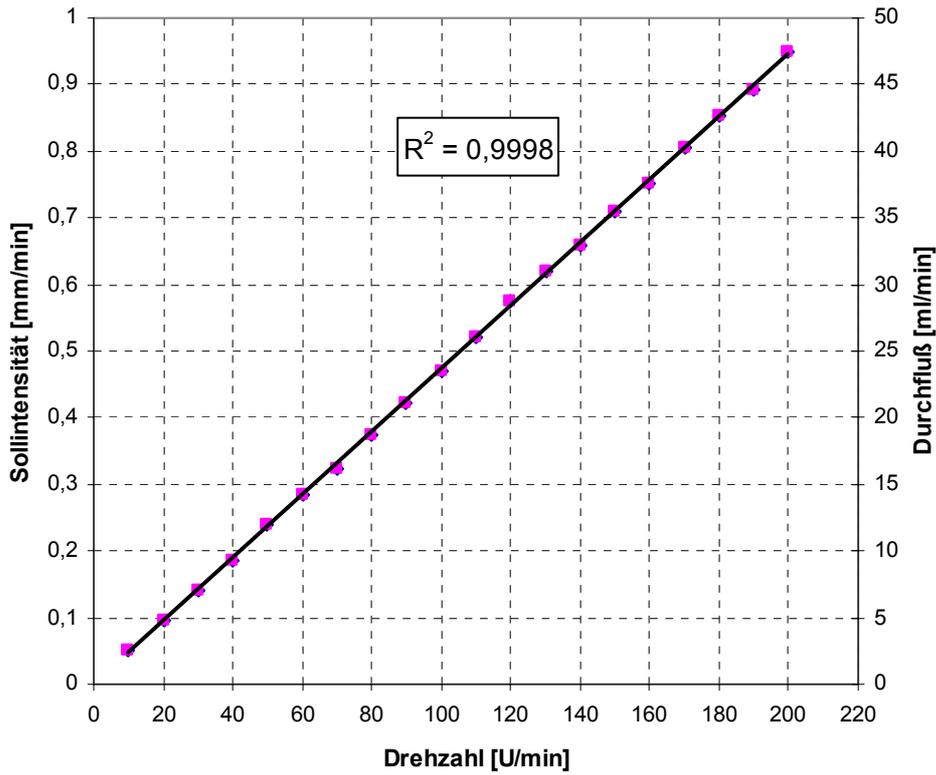


Abb. 4-7 Förderdiagramm für Schlauchtyp B

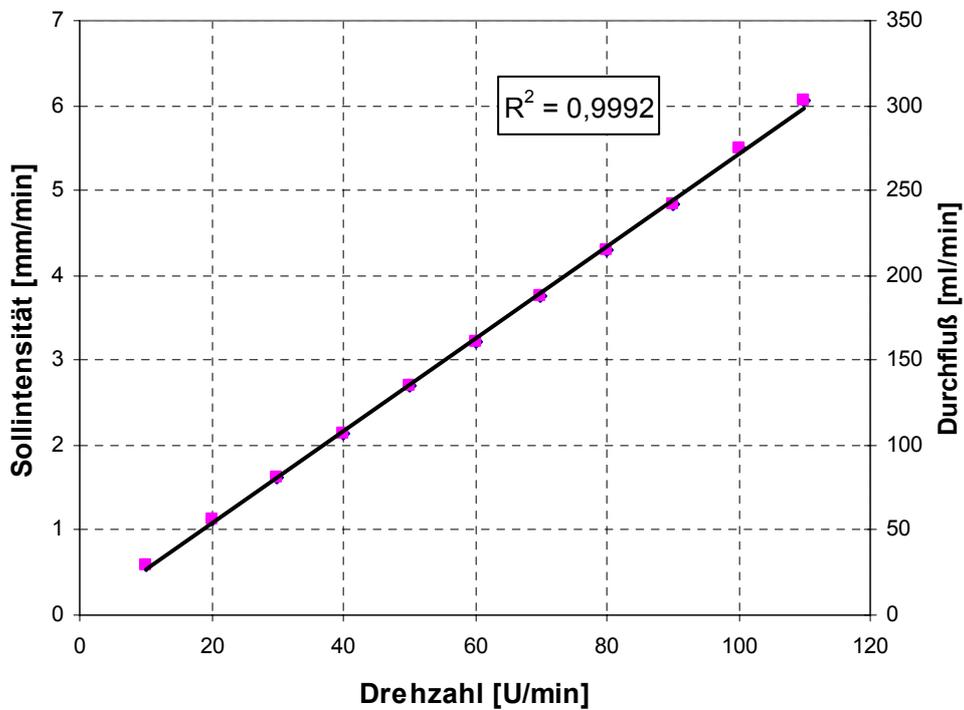


Abb. 4-8 Förderdiagramm Schlauchtyp E

### 4.2.2.3 Kalibriergerät

#### 4.2.2.3.1 Allgemeines

Das Kalibriergerät (Pregartner, 1994) steuert die Schlauchquetschpumpe, welche den Niederschlag simuliert, d.h. das Gerät ist in der Lage eine Messreihe zur Bestimmung der Korrekturfaktoren an einem Niederschlagsmessgerät automatisch aufzunehmen.

#### 4.2.2.3.2 Eigenschaften des Kalibriergerätes

- **Feldtauglichkeit:**

Das Kalibriergerät ist sowohl im Labor als auch vor Ort, also im Feld, verwendbar. Es ist spritzwasser- und verschmutzungsfest gebaut, vor allem aber gegen Sonneneinstrahlung und Temperaturänderungen unempfindlich, und somit während des etwa 4 Stunden langen Kalibriervorganges geschützt. Auch ist es gegen Erschütterungen beim Transport resistent.

- **Stromversorgung:**

Das Kalibriergerät arbeitet mit 12 Volt Gleichspannung. Im Labor wird mit Hilfe eines Netzadapters die Netzspannung in eine 12 Volt Gleichspannung gewandelt.

- **Abrufbarkeit bereits aufgenommener Daten:**

Ermittelte Daten können jederzeit, auch während eines laufenden Kalibriervorganges direkt vom Gerät abgelesen werden. Einerseits kann dadurch überprüft werden, wie weit der Messvorgang fortgeschritten ist, andererseits ergeben sich dabei bereits Aussagen über den Verlauf des Messvorganges (und dessen Sinnhaftigkeit).

- **Datensicherheit bei Versorgungsausfall:**

Im Normalfall werden nach der Kalibrierung eines Niederschlagsmessgerätes die Daten der Kalibrierungskurve und der Initialisierung sofort über den Laptop ausgelesen. Jedoch ist es möglich, diese Daten erst im Labor über einen PC abzurufen.

- **Initialisierung des  $\mu$ P-gesteuerten Kalibriergerätes über einen Laptop:**

Folgende Initialisierungen des Gerätes (Stahlhofer, 1999) müssen bei jeder Kalibrierung (mittels Laptop) durchgeführt werden.

- Eingabe der Größe der Wippenschale
- Eingabe des Pumpbereiches, Wassermenge pro Prozedur

- Eingabe der Schlauchart
- Kennlinienaufnahme und/oder Kalibrierung
- Zustandsüberprüfung des Datenspeichers

### 4.2.2.3.3 Beschreibung

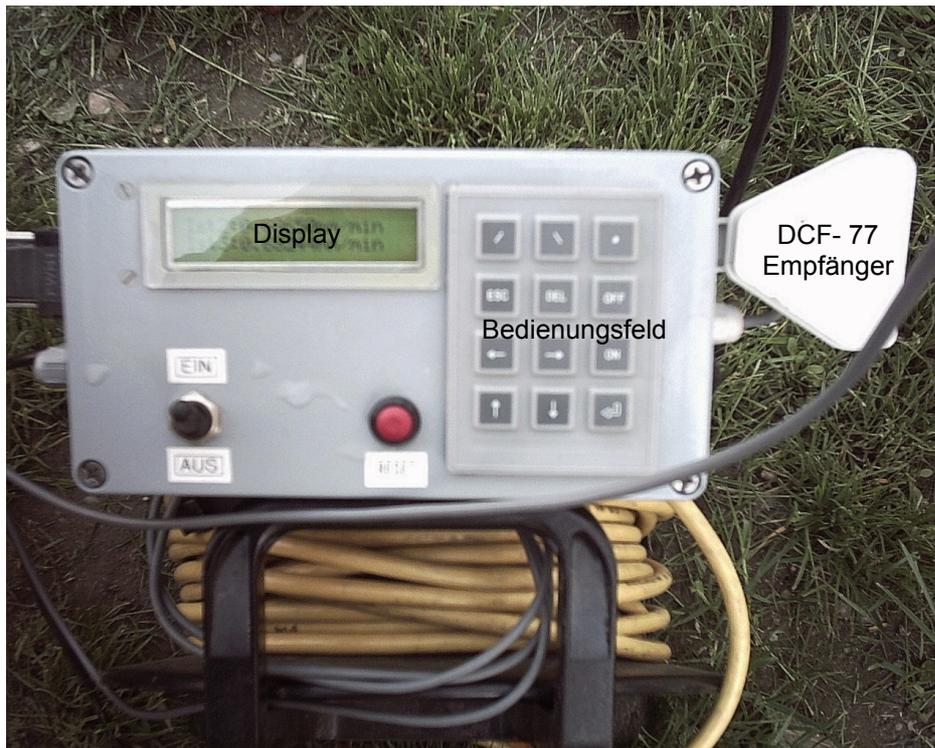


Abb. 4-9 Kalibriergerät

- **Bedienungsfeld**  
Das Kalibriergerät wird mit sechs Tasten des Tastenfeldes bedient. Die restlichen Tasten sind nicht mit Funktionen belegt.
- **Display**  
Über ein kleines Display ist die Kontrolle der Initialisierung und des gerade durchgeführten Arbeitsschrittes ersichtlich, weiters werden etwaige Fehler angezeigt.
- **DCF- 77 Empfänger**  
Das Datum der Kalibrierung ist sowohl manuell (über die Tastatur), als auch automatisch mit Hilfe eines DCF- 77 Empfängers einstellbar.

- **Anschlüsse**

Vor dem Einschalten des Kalibriergerätes müssen noch drei Verbindungen mit anderen Geräten hergestellt werden, welche sich an der Rückseite des Gerätes befinden.

Der Anschluss der Spannungsversorgung und der Wippensignalleitung über ein 3-poliges Kabel an der Geräterückseite und die Verbindung mit der Pumpe über eine 9-polige Schnittstelle, als auch die Verbindung zum Laptop über ein 9-poliges Kabel.

#### 4.2.2.3.4 Funktionsweise

Vor dem Beginn der Kalibrierung muss sichergestellt werden, dass die vorher erwähnten Geräte richtig angeschlossen sind und dass der entsprechende Schlauch in der Schlauchpumpe ordnungsgemäß eingelegt ist. Über das Bedienungsfeld kann nun das gewünschte Programm ausgewählt werden. Durch die Aktivierung des Menüpunktes wird die vollautomatische Ablaufsteuerung gestartet, wobei am Beginn die Drehzahl der Pumpe auf 70 U/min eingestellt wird. Die Pumpe fördert eine Minute lang Wasser aus dem Vorratsbehälter in den Auffangtrichter, um den Schlauch zu entlüften und um die Niederschlagswippen zu benetzen. Dies wird dem Benutzer durch die Display-Ausgabe Wasseransaugung mitgeteilt. Danach dreht sich die Pumpe mit der Drehzahl des gewählten Programms, in diesem Fall beginnend mit 10 U/min. Da das System aufgrund der abrupten Drehzahländerung Zeit zum Einschwingen benötigt, wird auch hier eine Minute lang gewartet, bevor die drei Messungen durchgeführt werden. Auch dies wird auf dem Display angezeigt. Während der Messungen werden die bereits aufgenommen Messwerte am Display ausgegeben. Das Kalibriergerät steuert nun den gesamten, d.h. es steuert die Drehzahländerung in Zehner-Schritten zwischen 10 und 200 U/min.

#### 4.2.2.4 Versuchsdurchführung

Das Aufstellen der Pumpe erfolgt bei beiden Messungen an derselben Stelle und in der gleichen Höhe, um bei den zwei Messungen die gleichen Ausgangsbedingungen zu schaffen. Vor Beginn wird - wie in Punkt 4.2.2.2.5 bereits erwähnt - das Förderdiagramm der Pumpe erstellt, welches die Sollwerte liefert. Mit Hilfe des Kalibriergerätes wird nach der Wahl des Programms der Versuch vollkommen automatisch durchgeführt. Nach Durchlaufen des Versuches mit Schlauch B wird Schlauch E eingelegt und erneut das Programm ausgewählt. Mit Schlauch E wird der Versuch bei 110 U/min abgebrochen.

#### 4.2.2.5 Messwerterfassung

Messwerte siehe auch Ausgabeprotokolle in Anhang A

- **Allgemeines**

Der Sollwert  $i_o$  und der Ist-Wert  $i$  des simulierten Niederschlages werden in zwei unabhängigen Vorgängen bestimmt.

- **Sollintensität  $i_o$**

Bei Schlauchquetschpumpen kann nur die Drehzahl, nicht aber der Durchfluss geregelt werden. Die Drehzahl wird in Zehner-Schritten, für den Schlauchtyp B zwischen 10 und 200 U/min und für den Schlauchtyp E zwischen 10 und 110 U/min, gesteigert. Beim Schlauchtyp E wird der Versuch bei 110 U/min abgebrochen. Darüber liegende Drehzahlen würden Niederschlagsintensitäten ergeben, die in der Natur in unseren Breiten vollkommen unmöglich sind. In Abhängigkeit des Innendurchmessers und des Durchflusses ergeben sich die Sollwerte der Intensität.

Die Sollwerte der Niederschlagsintensität errechnet sich aus den gemessenen Durchflüssen unter Berücksichtigung der Auffangfläche nach folgender Formel (siehe auch Abb.: 4-7 und 4-8):

- **$i_o = D/50$**

$i_o$     **Sollintensität [mm/min]**  
D      **Durchfluss [ml/min]**

- **Istintensität  $i$**

Der oben errechneten Sollintensitäten werden mit der Schlauchpumpe durch Steigerung der Drehzahl erzeugt. Da nur ganzzahlige Wippungen gezählt werden, richtet sich die Messzeit nach den von den Wippungen hervorgerufenen Pulsen. Die Anzahl der Wippungen variiert, je nach zu simulierender Intensität zwischen 3 und 15 Wippungen.

Für jede Drehzahl werden drei verschiedene Messungen durchgeführt, welche zur weiteren Berechnungen gemittelt werden. Ausreißer wurden vor der Berechnung des Mittelwertes eliminiert.

Messwerte siehe auch Anhang A

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Kalibrierkurven

Der erste Schritt nach dem Kalibriervorgang ist das Erstellen der gerätespezifischen Kalibrierkurven. Im Wesentlichen werden drei verschiedene Korrekturansätze bei der Regressionsrechnung im Rahmen dieser Untersuchung verwendet:

- **Linearer Funktionsansatz**

$$Y = A \cdot x + B$$

- **Potenzieller Funktionsansatz**

$$Y = A \cdot x^B$$

- **Polynomischer Funktionsansatz**

$$Y = A \cdot x^2 + B \cdot x$$

$$Y = A \cdot x^3 + B \cdot x^2 + C$$

Wobei A und B die Kalibrierparameter darstellen.

Zuerst wurde eine Kalibrierkurve mit linearerem Funktionsansatz für die Regressionsrechnung erstellt. Hierfür wurden für die Kalibrierkurve der Wippe 1 (Erste Messung) sieben Bereiche gewählt. Dabei ist darauf zu achten, dass der Korrelationskoeffizient  $R^2$  sehr hoch ist. Die Schwierigkeit bei dieser Methode liegt darin, dass die Geraden selbst gewählt werden müssen und somit versucht wird, die bestmögliche zu finden.

Die genaueste Korrektur ergibt sich dann, wenn zwischen jedem Messpunkt eine Gerade mit einem Regressionskoeffizienten  $R^2=1$  gelegt wird. Dies ist jedoch aufgrund des hohen Aufwandes im Rahmen dieser Untersuchung nicht durchgeführt worden. Die Ergebnisse dieser linearen Regressionsgeraden sind für das Beispiel der Wippe 1 Messung 1, sowohl in Tab. 5-1 als auch graphisch in Abb. 5-1 dargestellt.

In diesem Fall ist eine Unstetigkeit in dem Verlauf der Messwerte ab einer Intensität von ungefähr 3,5 mm/min zu bemerken. Bei der zweiten Messung der Wippe 2 tritt diese Unstetigkeit bei 3 mm/min auf (siehe Kalibrierkurven im Anhang).

WIPPE 1		Schlauchquetschpumpe Messung 1		
		Lineare Korrektur 0-7 mm/min Nr.1		
Intensität i [mm/min]		A	B	R <sup>2</sup>
von	bis			
0,000000	0,894559	1,0442	0,0000	0,9989
0,894559	1,111630	0,7764	0,2850	1,0000
1,111630	1,497800	1,2789	-0,3036	1,0000
1,497800	2,403020	1,2122	-0,2138	0,9990
2,403020	3,755500	1,1765	-0,1292	0,9996
3,755500	3,931970	3,1356	-7,0484	1,0000
3,931970	4,560270	1,9132	-2,7035	0,9904

Tab. 5-1 Sieben Bereiche mit den Kalibrierparametern A und B und dem Korrelationskoeffizienten der Linearen Regressionsgeraden der Wippe 1

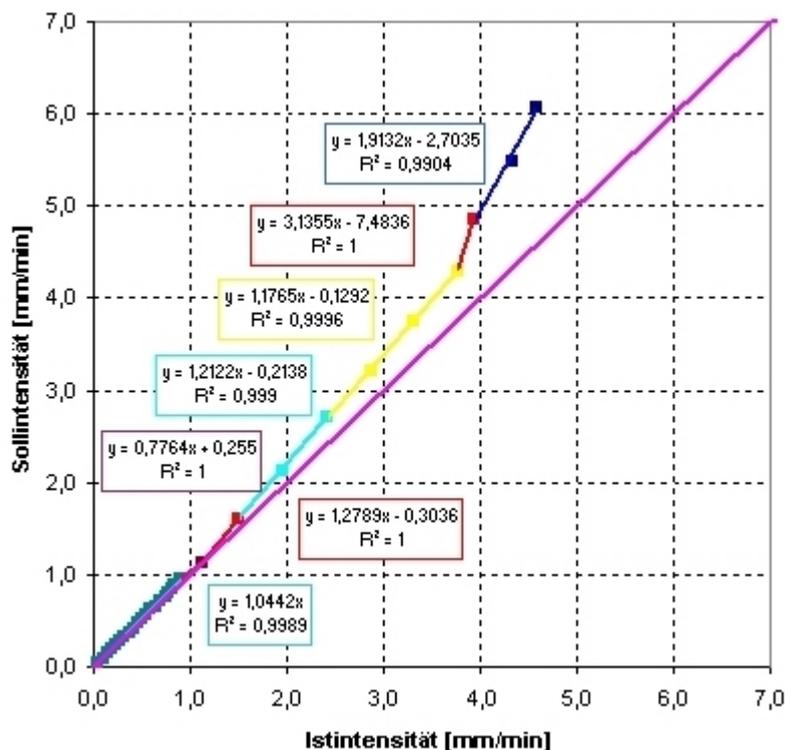


Abb. 5-1 Lineare Regressionsgerade der Wippe 1 mit einer Intensität bis 7 mm/min

Da Niederschlagsereignisse mit niedrigen Intensitäten mit dieser Methode nicht zufrieden stellend korrigiert werden können, wurde im Speziellen eine Kalibrierkurve mit linearer Regressionsgerade bis zu einer Intensität von 1 mm/min erstellt.

Die Ergebnisse dieser linearen Regressionsgeraden sind für das Beispiel der Wippe 1 Messung 1, sowohl in Tab. 5-2 als auch graphisch in Abb. 5-2 dargestellt.

Der Regressionskoeffizient  $R^2$ , der in Abb. 5-1 dargestellten Kalibrierkurve beträgt für eine Intensität bis 1mm/min, 0,9989. Bei der Kalibrierkurve in Abb. 5-2 streut der Regressionskoeffizienten  $R^2$  zwischen 0,9991 und 1.

Die gemessenen Istintensitäten sind bis zu einem Wert von 0,2 mm/min kleiner als die Sollintensitäten. Dieses zu wenig „Messen“ lässt sich auf die Benetzung (Adhäsion) der Wippenschale zurückzuführen.

WIPPE 1		Schlauchquetschpumpe Messung 1		
		Lineare Korrektur 0-1mm/min Nr.2		
Intensität i [mm/min]		A	B	R <sup>2</sup>
von	bis			
0,000000	0,104666	0,9276	0,0000	0,9992
0,104666	0,274880	1,0988	-0,0166	0,9991
0,274880	0,320790	0,8331	0,0564	1,0000
0,320790	0,498860	1,1079	-0,0322	0,9999
0,498860	0,681230	1,0288	0,0085	0,9992
0,681230	0,740970	0,7034	0,2311	1,0000
0,740970	0,805910	1,5315	-0,3816	0,9992
0,805910	0,838040	1,2658	0,1683	1,0000

Tab. 5-2 Acht Bereiche mit den Kalibrierparametern A und B und dem Korrelationskoeffizienten der Linearen Regressionsgeraden der Wippe 1

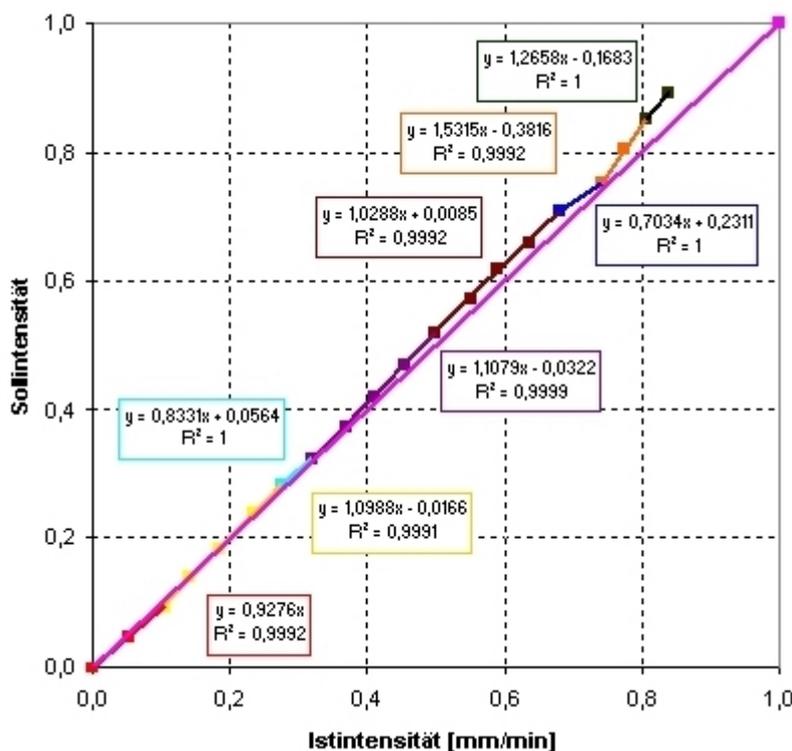


Abb. 5-2 Lineare Regressionsgerade der Wippe 1 mit einer Intensität bis 1 mm/min

Als zweiter Schritt wurden die Kalibrierkurven mit Potenzfunktion und polynomischer Funktion erstellt. Beide Korrekturansätze liefern gute Ergebnisse, welche an Hand des hohen Korrelationskoeffizienten  $R^2$  in der nachfolgenden Tabelle ersichtlich ist.

WIPPE 1			Schlauchquetschpumpe		Dynamische Kalibrierung	
			Messung 1	Messung 2	Messung 1	Messung 2
$y=Ax$	A	Nr.1	-	-	1,0446	1,0843
	$R^2$		-	-	0,9992	0,9983
Potentielle Korrektur $y=Ax^B$	A	Nr.1	1,0840	1,0634	1,0336	1,0485
	B		1,0580	1,0432	1,0233	1,0488
	$R^2$		0,9990	0,9993	0,9996	0,9996
	A	Nr.2	1,0620	1,0505	-	-
	$R^2$		1,0375	1,0294	-	-
Polynomische Korrektur $y=Ax^2+Bx$	A	Nr.1	0,0761	0,0446	-0,0288	0,0467
	B		0,9325	0,9827	1,0035	0,9974
	$R^2$		0,9979	0,9997	0,9998	0,9997
	A	Nr.2	0,0623	0,0750	-	-
	B		1,0012	0,0983	-	-
	$R^2$		0,9994	0,9996	-	-
Polynomische Korrektur $y=Ax^3+Bx^2+Cx$	A	Nr.3	0,0248	0,0023	-0,0424	-0,0279
	B		-0,0653	0,0302	0,1318	0,1358
	C		1,0938	1,0012	0,9536	0,9339
	$R^2$		0,9991	0,9998	0,9999	0,9999

Tab. 5-3 Kalibrierparameter der Wippe 1

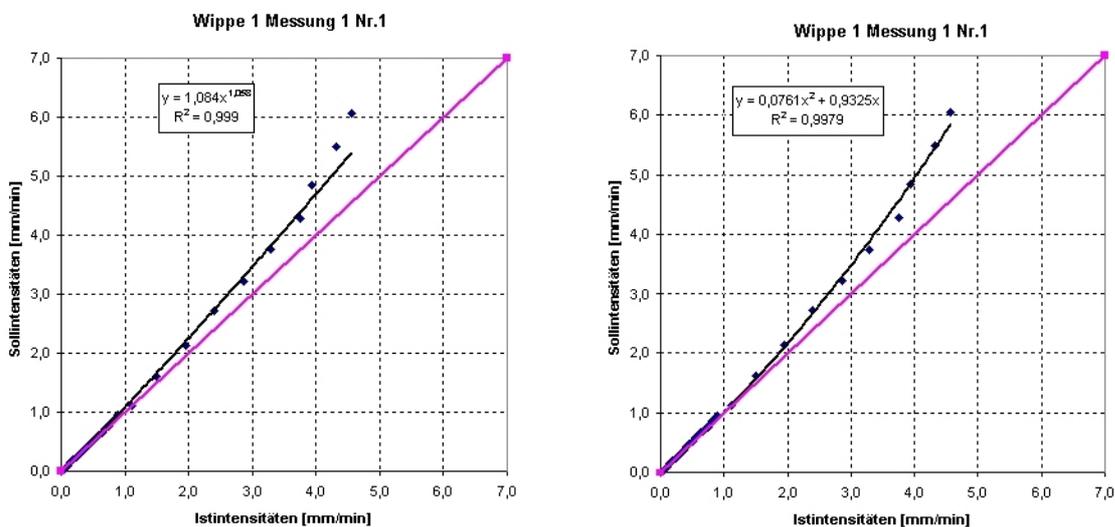


Abb. 5-3 Kalibrierkurve mit potenziellem (links) und polynomischem Funktionsansatz 2. Grades (rechts) für die Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe für Intensitäten bis 7 mm/min

Auch für diese beiden Korrekturansätze wurde der Intensitätsbereich bis 1 mm/min genauer untersucht. Die Ergebnisse sind in

WIPPE 1			Schlauchquetschpumpe		Dynamische Kalibrierung	
			Messung 1	Messung 2	Messung 1	Messung 2
$y=Ax$	A	Nr.1	-	-	1,0446	1,0843
	$R^2$		-	-	0,9992	0,9983
Potentielle Korrektur $y=Ax^B$	A	Nr.1	1,0840	1,0634	1,0336	1,0485
	B		1,0580	1,0432	1,0233	1,0488
	$R^2$		0,9990	0,9993	0,9996	0,9996
	A	Nr.2	1,0620	1,0505	-	-
	B		1,0375	1,0294	-	-
	$R^2$		0,9994	0,9995	-	-
Polynomische Korrektur $y=Ax^2+Bx$	A	Nr.1	0,0761	0,0446	-0,0288	0,0467
	B		0,9325	0,9827	1,0035	0,9974
	$R^2$		0,9979	0,9997	0,9998	0,9997
	A	Nr.2	0,0623	0,0750	-	-
	B		1,0012	0,9983	-	-
	$R^2$		0,9994	0,9996	-	-
Polynomische Korrektur $y=Ax^3+Bx^2+Cx$	A	Nr.3	0,0248	0,0023	-0,0424	-0,0279
	B		-0,0653	0,0302	0,1318	0,1358
	C		1,0938	1,0012	0,9536	0,9339
	$R^2$		0,9991	0,9998	0,9999	0,9999

Tab. 5-3 tabellarisch dargestellt. Die Bezeichnung Nr. 1 steht für den Bereich bis 7 mm/min und die Bezeichnung Nr. 2 steht für den Bereich bis 1 mm/min.

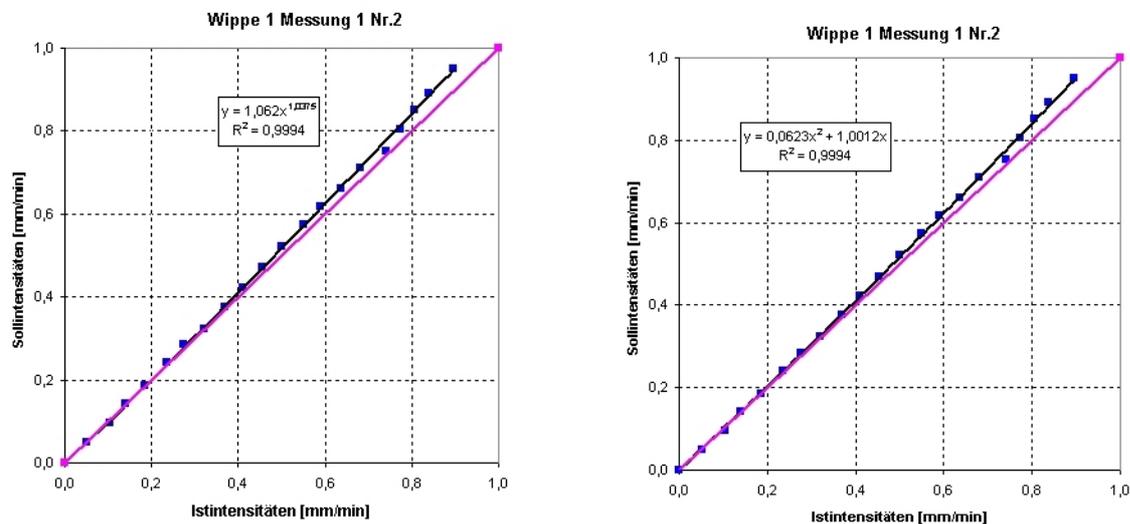


Abb. 5-4 Kalibrierkurve mit potenziellem (links) und polynomischem Funktionsansatz 2. Grades (rechts) für die Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe für Intensitäten bis 1 mm/min

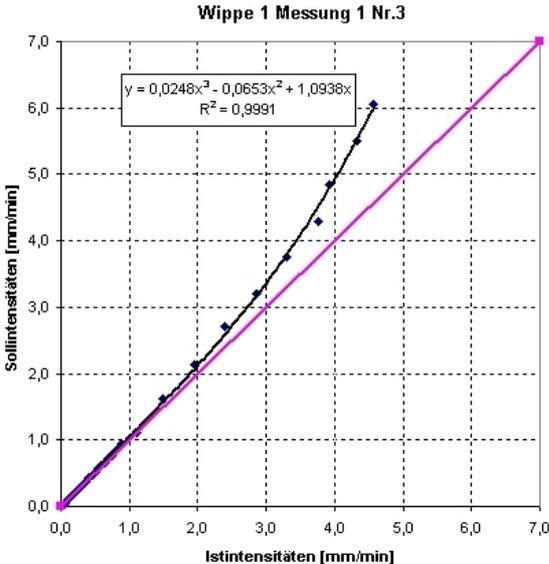


Abb. 5-5 Kalibrierkurve mit polynomischer Funktion 3. Grades

## 5.2 Auswertung

Mit den in Punkt 4.2.2.5 errechneten Istintensitäten und Sollintensitäten wird der **Korrekturfaktor c** [-] nach folgender Formel berechnet:

$$c = i_o / i \text{ [-]}$$

$i_o$  Sollintensität [mm/min]

$i$  Istintensität [mm/min]

Weiters kann mit Hilfe der Istintensität und der Sollintensität ein **Fehler [%]** wie folgt berechnet werden:

$$F = ((i_o - i) / i) * 100 \text{ [%]}$$

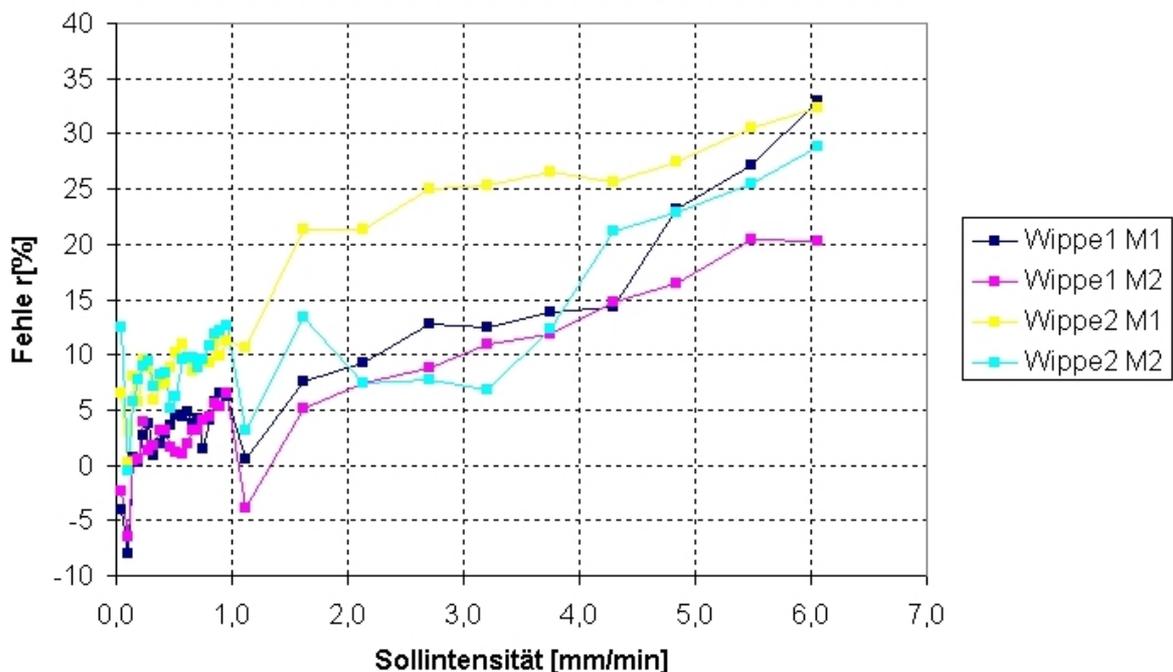


Abb. 5-6 Fehlergegenüberstellung des Intensitätsbereiches bis 7 mm/min

Bei der Fehlergegenüberstellung kann erkannt werden, dass die beiden zeitversetzten Messungen der Wippe 1 annähernd sowohl im geringen als auch im hohen Intensitätsbereich dem selben Verlauf folgen. Die Messungen der Wippe 2 weisen im niedrigen Intensitätsbereich einen ähnlichen Verlauf auf, im Bereich zwischen 2 und 5 mm/min gibt es jedoch erhebliche Differenzen, welche auf eine möglichen Unstetigkeit im Kalibriervorgang zurückzuführen sind. Der maximale Fehler der Wippe 1 und 2 beträgt rund 33 %. In Abb. 5-7 sind Soll- und Istintensitäten der beiden Wippen gegenübergestellt.

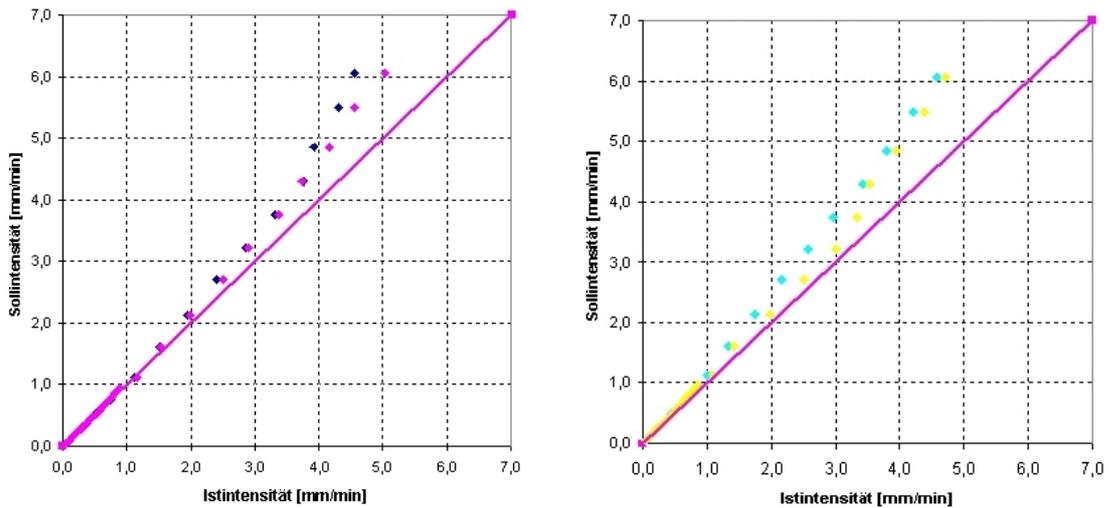


Abb. 5-7 Darstellung der Soll- und Istintensität der Wippe 1 (links, Messung 1 und Messung 2) und der Wippe 2 (rechts, Messung 1 und Messung 2)

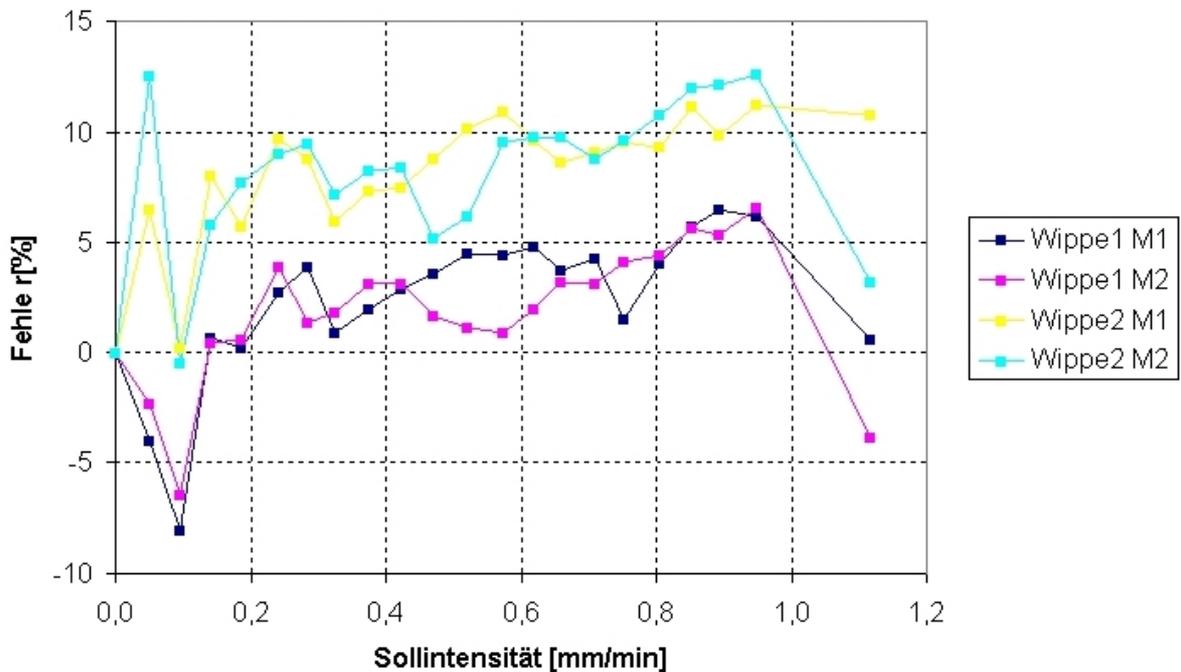


Abb. 5-8 Fehlergegenüberstellung des Intensitätsbereiches bis 1 mm/min

Bei Intensitäten bis 1 mm/min variiert der Fehler der Wippe 1 zwischen -8 % und +6,5 %. Im Gegensatz dazu bewegt sich der Fehler der Wippe 2 zwischen -0,5 % und +12,5 %.

## 5.3 Niederschlagskorrektur

Die von den Wippen aufgezeichneten Regendaten werden wie folgt in eine **Istintensität  $i$**  umgerechnet:

$$i = w / \Delta t \text{ [mm/min]}$$

$w$  Wippschaleninhalte  $5 \text{ cm}^3 = 0,1 \text{ mm}$   
 $\Delta t$  Zeitdifferenz zwischen den Wippungen

Die errechneten Istintensitäten  $i$  stellen das  $x$  und die Sollintensität  $i_0$  das  $y$  in der Korrekturformel dar.

- **Diskussion der korrigierten Regendaten**

Der Gesamtniederschlag im Zeitraum von 09.04 – 02.06.2004, das Regenereignis vom 22.05.04, mit Intensitäten bis 1,2 mm/min und das Regenereignis vom 28.05.04 mit niedrigen Intensitäten bis 0,15 mm/min wurden korrigiert und verglichen.

### **Gesamtniederschlag:**

Der Fehler zwischen gemessenem Wert und korrigiertem Wert, der **Wippe 1**, streut zwischen **-3,9** und **7,55 %**.

Bei der Korrektur des Gesamtniederschlages ergaben sich bei der Wippe 1 ein Fehler von maximal 7,55 % bei der Korrektur mit einem Polynom dritten Grades. Dieser Fehlerwert wird jedoch beim Vergleich mit den Werten der dynamischen Kalibrierung mit konstanter Druckhöhe (siehe Anhang Gegenüberstellung der Korrigierten Regendaten) nicht bestätigt und kann daher nicht verwendet werden.

Diese Ergebnisse zeigen, dass eine Korrektur des Gesamtniederschlages bei Wippe 1 nicht notwendig wäre. Diese Annahme wird aber bei einer näheren Betrachtung der Wippe 2 nicht bestätigt. Bei der **Wippe 2** streut der Fehler zwischen **-1,44** und **+16,05 %**. Dieser maximale Fehler von 16,05 % wird jedoch von den Werten der dynamische Kalibrierung mit konstanter Druckhöhe (siehe Anhang Gegenüberstellung der korrigierten Regendaten) nicht bestätigt.

Die Wippe 2 misst zu wenig, da diese auch statisch zu wenig misst.

Gesamtniederschlag 9.04.04 - 2.06.04			Schlauchquetschpumpe							
			Niederschlagshöhe [mm] Fehler [%]				Niederschlagshöhe [mm] Fehler [%]			
			Messung1		Messung2		Messung1		Messung2	
1	Ohne Korrektur		<b>141,50</b>	-	<b>141,50</b>	-	<b>127,20</b>	-	<b>127,20</b>	-
2	Lineare Korrektur	Nr.1	147,58	4,30	146,59	3,60	136,51	9,31	139,96	10,03
3	Lineare Korrektur	Nr.2	141,05	-0,32	141,21	-0,20	139,83	12,63	137,16	7,83
4	Potenzielle Korrektur	Nr.1	140,95	-0,39	141,23	-0,19	135,10	7,90	136,38	7,22
5	Potenzielle Korrektur	Nr.2	142,54	0,73	142,49	0,70	136,95	9,75	137,26	7,91
6	Polynomische Korrektur	Nr.1	135,97	-3,91	141,41	-0,06	143,25	16,05	125,37	-1,44
7	Polynomische Korrektur	Nr.2	144,36	2,02	142,53	0,73	138,03	10,83	134,72	5,91
8	Polynomische Korrektur	Nr.3	152,19	7,55	143,35	1,31	139,06	11,86	141,05	10,88
9	Waage Kluswmanng.		<b>108,90</b>	<b>-23,0</b>			<b>108,90</b>	<b>-14,6</b>		

Tab. 5-4 Tabellarische Darstellung des korrigierten Gesamtniederschlags

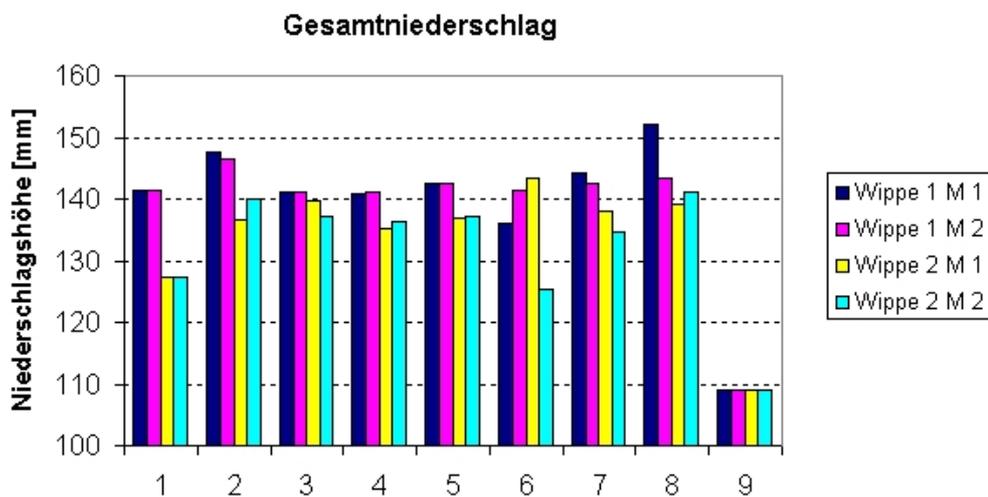


Abb. 5-9 Graphische Darstellung des korrigierten Gesamtniederschlags

Aus der Tab. 5-4 ist sehr deutlich die Brauchbarkeit der verschiedenen Ansätze erkennbar. Die Differenz der gemessenen Niederschlagshöhen der beiden Wippen beträgt 14,3 mm. Der mit Ansatz 3 (lineare Korrektur Nr.2) korrigierte Gesamtniederschlag weist eine Differenz von 4,05 mm auf. Ansatz 4 (potenzielle Korrektur Nr.1) weist einen Unterschied von 6,13 mm auf, Ansatz 5 (potenzielle Korrektur Nr.2) eine Differenz von 5,9 mm. Alle drei Ansätze liefern Niederschlagshöhen in einer ähnlichen Größenordnung.

**Regenereignis 22.05.04:**

Der Fehler zwischen gemessenem Wert und korrigiertem Wert der **Wippe 1** streut zwischen **-2,89** und **+7,04 %**. Der Fehler zwischen gemessenem Wert und korrigiertem Wert, der **Wippe 2** streut zwischen **-0,75** und **+10,17 %**.

Die Vermutung, dass Einzelregenereignisse mit höheren Intensitäten (Regenereignis vom 22.05.04 weist Intensitäten bis 1,2 mm/min auf) einen höheren Fehler aufweisen, bestätigt sich in diesem Fall nicht.

Regenereignis 22.05.2004			Schlauchquetschpumpe							
			Niederschlagshöhe [mm] Fehler [%]				Niederschlagshöhe [mm] Fehler [%]			
			Messung1		Messung2		Messung1		Messung2	
1	Ohne Korrektur		39,30	-	39,30	-	35,10	-	35,10	-
2	Lineare Korrektur	Nr.1	40,94	4,17	40,57	3,23	37,86	7,85	37,82	7,76
3	Lineare Korrektur	Nr.2	39,58	0,67	39,44	0,37	38,62	10,02	37,82	7,76
4	Potenzielle Korrektur	Nr.1	40,06	1,94	39,91	1,55	38,06	8,44	37,95	8,11
5	Potenzielle Korrektur	Nr.2	40,28	2,50	40,09	2,02	38,22	8,90	38,09	8,53
6	Polynomische Korrektur	Nr.1	38,17	-2,89	39,51	0,53	39,70	13,10	34,84	-0,75
7	Polynomische Korrektur	Nr.2	39,30	0,00	39,91	1,55	38,41	9,43	37,24	6,09
8	Polynomische Korrektur	Nr.3	42,07	7,04	39,98	1,74	38,67	10,17	38,73	10,34
9	Waage Kluswmanng.		33,00	-17,9			33,00	-6,0		

Tab. 5-5 Tabellarische Darstellung des korrigierten Regenereignisses vom 22.05.04

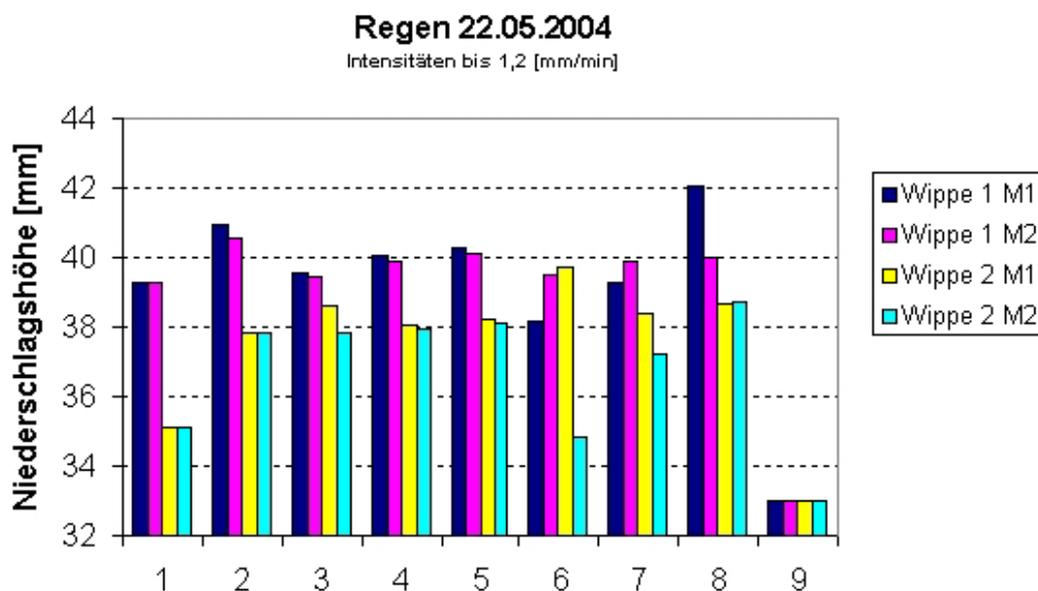


Abb. 5-10 Graphische Darstellung des korrigierten Regenereignisses vom 22.05.04

**Regenereignis 28.05.04:**

Der Fehler zwischen gemessenem Wert und korrigiertem Wert, der **Wippe 1**, streut zwischen **-8,35** und **+8,99** %. Der Fehler zwischen gemessenem Wert und korrigiertem Wert, der **Wippe 2**, streut zwischen **-3,22** und **+11,30** %.

Die Vermutung, dass Einzelregenereignisse mit niedrigen Intensitäten (Regenereignis vom 28.05.04 weist Intensitäten bis 0,15 mm/min auf) einen negativen Fehler (zu wenig „Messen“ aufgrund der Adhäsion) aufweisen, bestätigt sich in diesem Fall bei Wippe 1.

Regenereignis 28.05.2004			Schlauchquetschpumpe							
			Niederschlagshöhe [mm] Fehler [%]				Niederschlagshöhe [mm] Fehler [%]			
			Messung1		Messung2		Messung1		Messung2	
1	Ohne Korrektur		<b>20,00</b>	-	<b>20,00</b>	-	<b>18,10</b>	-	<b>18,10</b>	-
2	Lineare Korrektur	Nr.1	20,88	4,42	20,79	3,93	18,89	4,37	19,93	10,13
3	Lineare Korrektur	Nr.2	18,57	-7,13	18,89	-5,57	19,85	9,68	19,45	7,46
4	Potenzielle Korrektur	Nr.1	18,33	-8,35	18,77	-6,17	17,69	-2,26	18,79	3,79
5	Potenzielle Korrektur	Nr.2	19,05	-4,73	19,29	-3,53	18,83	4,05	19,13	5,68
6	Polynomische Korrektur	Nr.1	18,74	-6,28	19,71	-1,46	20,15	11,30	17,50	-3,32
7	Polynomische Korrektur	Nr.2	20,10	0,50	19,65	-1,74	19,30	6,62	18,82	3,99
8	Polynomische Korrektur	Nr.3	21,80	8,99	20,06	0,31	19,37	6,99	20,37	12,51
9	Waage Kluswmanng.		<b>15,50</b>	<b>-22,5</b>			<b>15,50</b>	<b>-14,4</b>		

Tab. 5-6 Tabellarische Darstellung des korrigierten Regenereignisses vom 28.05.04

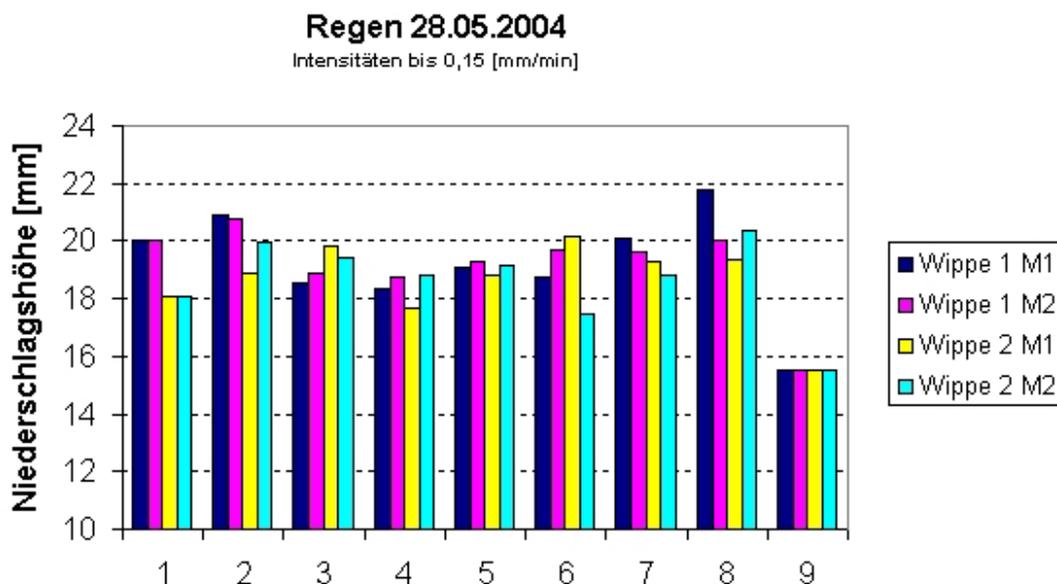


Abb. 5-11 Graphische Darstellung des korrigierten Regenereignisses vom 28.05.04

- **Vergleich der dynamischen Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe und konstanter Druckhöhe am Beispiel des Gesamtniederschlags**

Ansatz 5 und 7 wurden bei der dynamischen Kalibrierung mit konstantem Durchfluss nicht angewendet, da durch den händischen durchgeführten Messvorgang die exakte Erzielung einer bestimmten Intensität sehr schwierig war. Weiters wurden wie in den Tabellen der Messwerte der dynamischen Kalibrierung mit konstantem Durchfluss (siehe Anhang) ersichtlich ist, nur sieben bis neun Messungen durchgeführt.

Ansatz 3 (lineare Korrektur Nr.2) und Ansatz 4 (potenzielle Korrektur Nr.1) weisen bei **Wippe 1** eine gute Übereinstimmung auf.

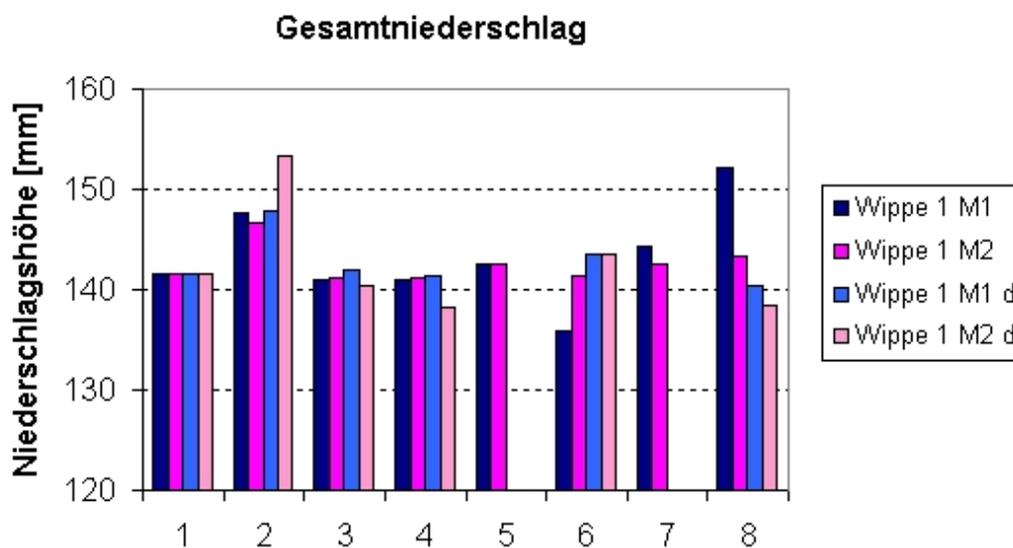


Abb. 5-12 Graphische Darstellung des Vergleichs der Wippe 1

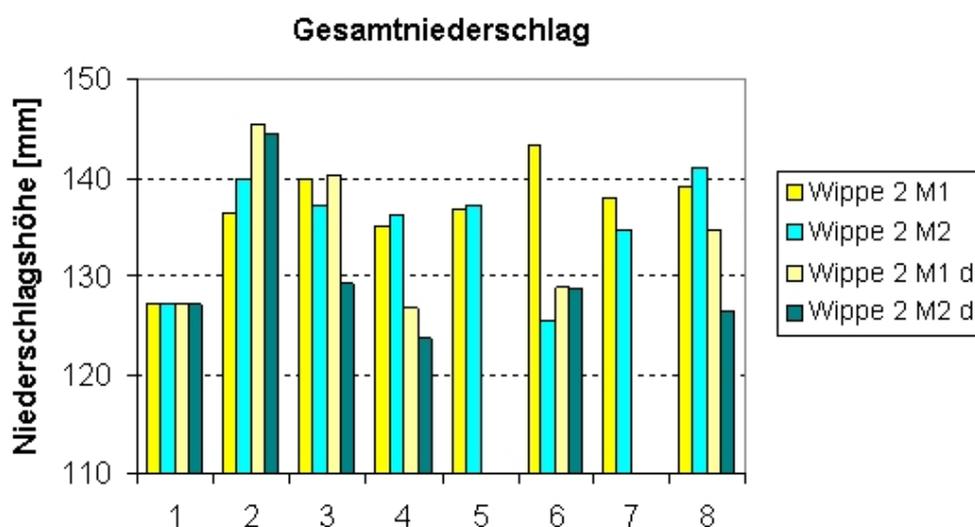


Abb. 5-13 Graphische Darstellung des Vergleichs der Wippe 2

Die **Wippe 2** zeigt bei keinem Ansatz eine gute Übereinstimmung.

- **Vergleich mit der Niederschlagswaage**

Die Niederschlagswaage der Klusemanngasse hat, für den Zeitraum von 09.04.04 – 02.06.04, eine Gesamtniederschlagsmenge von 108,6 mm gemessen, die Wippe 1 141,5 mm und die Wippe 2 127,1 mm. Die Abweichung der Niederschlagswaage beträgt bei der Wippe 1 -23,0 % und bei der Wippe 2 -14,6 %.

Die Gesamtniederschlagsmenge der Niederschlagswaage wurde nicht von der automatisierten Berechnung der Tagessummen Niederschlagswaage berechnet, sondern aus der kontinuierlichen Auflistung der Messungen. Bei der Addition der automatisch berechneten Tagessummen beträgt der Gesamtniederschlag 130,3 mm. Da jedoch der Standort der Waage ein anderer ist als der der Niederschlagswippen, ist ein Vergleich der Niederschlagsmengen ohnehin nur bedingt aussagekräftig.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden drei verschiedene Arten der Kalibrierung durchgeführt:

- Statische Kalibrierung
- Dynamische Kalibrierung mit konstanter Druckhöhe
- Dynamische Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe

Mit den gewonnenen Messwerten wurden Kalibrierkurven mit verschiedenen Funktionsansätzen erstellt. Mit Hilfe dieser Korrekturansätze wurden die gemessenen Niederschlagsdaten der beiden Wippen korrigiert und verglichen.

Die Korrekturansätze, 3 (linearer Korrekturansatz bis 1 mm/min], 4 (potenzieller Korrekturansatz bis 7 mm/min) und 5 (potenzieller Korrekturansatz bis 1 mm/min) erwiesen sich im Rahmen dieser Untersuchung, sowohl für Wippe 1 als auch für Wippe 2, als am Besten geeignet.

Diese drei Ansätze weisen eine gute Übereinstimmung auf. Diese Ansätze zeigen bei der Korrektur des Gesamtniederschlags die geringste Streuung, sowohl die Streuung der drei Ansätze untereinander, als auch die Streuung der verschiedenen Messungen. Trotz eines 11 % Fehler der gemessenen Intensitäten der beiden Wippen konnte mit diesen drei Korrekturansätzen der Fehler auf 3,0 – 4,0 % reduziert werden

Die Vermutung, dass der Fehler bei Starkregenereignissen zunimmt, wurde im Rahmen dieser Untersuchung nicht bestätigt. Die Korrektur eines Einzelereignisses mit hohen Intensitäten zeigte lediglich, dass das oben erwähnte Maß der Streuung der korrigierten Niederschlagsdaten bei höheren Intensitäten zunimmt. Die Korrekturansätze, 3 (linearer Korrekturansatz bis 1 mm/min], 4 (potenzieller Korrekturansatz bis 7 mm/min) und 5 (potenzieller Korrekturansatz bis 1 mm/min) sind jedoch auch bei Niederschlagsereignissen mit hohen Intensitäten, sowohl für Wippe 1 als auch für Wippe 2, am Besten geeignet.

Die Vermutung, dass Einzelregenereignisse mit niedrigen Intensitäten einen negativen Fehler aufweisen, bestätigt sich in diesem Fall bei Wippe 1 und ist auf die Adhäsion zurückzuführen.

Die dynamische Kalibrierung mit konstanter Druckhöhe erwies sich zur Kontrolle der dynamischen Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe als sehr brauchbar. Auch hier

wies die Wippe 1 für den Korrekturansatz 3 (linearer Korrekturansatz bis 1 mm/min] und 4 (potenzieller Korrekturansatz bis 7 mm/min) eine sehr gute Übereinstimmung auf.

Die Wippe 2 zeigt bei keinem Korrekturansatz eine gute Übereinstimmung.

Beim Vergleich der beiden Wippen wird deutlich, dass die statische Kalibrierung sehr wichtig ist. Die statische Kalibrierung sollte sowohl im Labor als auch vor Ort durchgeführt werden. Es ist besonders darauf zu achten, dass die beiden Wippschalen zur selben Zeit kippen. Weiters sollte der Schaleninhalt genau überprüft werden, um etwaige Fehler, welche durch ein verändertes Fassungsvermögen einer Wippschale auftreten können, zu eliminieren. Veränderungen des Fassungsvermögens einer Wippschale können durch z.B.: Alterung und Abnutzung erfolgen. Um die Benetzung der Wippschale gering zu halten sollte die Wippschale regelmäßig gewechselt werden. Durch höhere Sorgfalt bei der statischen Kalibrierung hatte Wippe 2 bessere Ergebnisse geliefert.

Der Vergleich mit einer Niederschlagswaage Klusemanngasse konnte keinen Aufschluss über die Richtigkeit der korrigierten Niederschlagsdaten liefern. Eine Aussage kann nur dann getroffen werden, wenn die Waage am selben Ort und in derselben Höhe wie die Niederschlagswippen aufgestellt ist.

Der Vergleich der beiden Wippen zeigt, dass eine Korrektur der Niederschlagsdaten sinnvoll ist. Der Aufwand der Korrektur sollte sich jedoch dem Verwendungszweck der korrigierten Niederschlagsdaten angepasst werden. D.h.: zur Erstellung einer Jahresniederschlagssumme ist dieser hohe Aufwand nicht notwendig. Werden die Niederschlagsdaten jedoch für weitere Berechnungen (z.B.: Schmutzfrachtsimulationen) verwendet, ist eine Korrektur mit höherem Aufwand auf alle Fälle gerechtfertigt.

Im Rahmen dieser Untersuchung konnte kein Korrekturansatz gefunden werden, welcher auf alle Niederschlagswippen anwendbar wäre. Es wurde lediglich gezeigt, dass jede Wippe eine Eigendynamik aufweist. Die dadurch auftretenden Fehler können jedoch durch eine sorgfältige statische Kalibrierung und der Korrektur der Niederschlagsdaten minimiert werden.

## 7 Literaturverzeichnis

**Baumgartner A., Liebscher H., (1996):** Allgemeine Hydrologie, Band 1, 2.Auflage, Gebrüder Bornträger Berlin Stuttgart

**Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft** Geschäftsbereich des bayrischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen

<http://www.bayern.de/lfw/technik/gkd/kurzinfo/hydromet/niederschlaege/radarbild.htm>

**Bergmann, (1997):** Vorlesungsskriptum: Hydrologie Teil 1

**Cambell Scientific Ltd. (2000):** FSS500 & FSS500H Tipping Bucket Raingauge. User Guide. Loughborough

**Dalezius, N. R. (1990):** Digital processing of weather radar signals for rainfall estimation.- In: Int. J. Remote Sensing; Vol. 11, No. 9:1561-1569

**Din (Deutsches Institut für Normung e.V.) (Hrsg), (1996):** Wasserwesen, Begriffe, Normen, Beuth, Berlin

**Disse M., (2000):** Vorlesungsskriptum: Hydrologie 1, Lehrstuhl für Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz, Uni Bundeswehr München

[www.bauv.unibw-muenchen.de/institute/inst6\\_2/Lehre/Vorlesungsunterlagen/Niederschlag.pdf](http://www.bauv.unibw-muenchen.de/institute/inst6_2/Lehre/Vorlesungsunterlagen/Niederschlag.pdf)

**Dracos Th., (1980):** Hydrologie, Eine Einführung für Ingenieure, Springer – Verlag Wien New York

**Gattermayer, (2000):** Niederschlag: Übliche Meßmethoden- unübliche Auswertungsmethoden, Tagung 1950- 2000 Integralmelioration im Zillertal- Umfassender Schutz vor Hochwasser und anderen Naturgefahren; Mayerhofer

**Hable O., (2000):** Die Eichung von Niederschlagswippen mit ausgestatteten Niederschlagsmessgeräten am Beispiel des hydrologischen Versuchsgebietes Annerbach in Graz, Mitteilungsblatt des Hydrologischen Dienstes in Osterreich, 79:35-51

**Heyer E., (1977):** Witterung und Klima, 4. Auflage, BSB B.G. Teubner Verlagsgesellschaft Leipzig

**ISMATEC, (1993):** MCP- Antrieb ISM 726 MCP- Pumpensysteme, Betriebsanleitung

**Janssen, M. (1998/99):** Messung, Auswertung und Erosivität von Niederschlägen, FU Berlin

**Maidment, D. R. [Ed.](1992):** Handbook of Hydrology. New York

**Marsalek, J. (1981):** Calibration of the tipping- bucket rain gauge, Journal of Hydrologie, 53: 343- 354

**MEDAS (Meteorologisches Dartenerfassungssystem):** Betriebsanleitung PAAR

**Pregartner H., (1999):** Kalibriergerät für Niederschlagsmessung, Diplomarbeit, TU-Graz

**Stahlhofer, J., (1999):** Kalibriersoftware für ein Niederschlagsmengen- Messgerät, Diplomarbeit, TU-Graz

**Sumner, G. (1988):** Precipitation. Process and Analysis. Chichester.

## 8 Anhang

Wippe 1		Zeit			Summe [min]	Soll-Wert Wippungen	Ist-Wert Wippungen	Ist-Wert [mm/min]	Soll-Wert [mm/min]
		[min]	[sec]	[hsec]					
Messung 1	5	47	46	47	47,8450	100	98	0,2048	0,0980
	4	27	15	67	27,3617	100	100	0,3655	0,1000
	1	25	50	76	25,9600	100	100	0,3852	0,1000
	7	19	21	47	19,4283	100	100	0,5147	0,1000
	2	13	42	93	13,8550	100	98	0,7073	0,0980
	6	8	4	0	8,0667	100	95	1,1777	0,0950
	3	5	14	0	5,2333	100	95	1,8153	0,0950
Messung 2	1	71	54	40	71,9667	98	100	0,1390	0,1362
	5	16	27	66	16,5600	67	69	0,4167	0,4046
	7	11	14	54	11,3233	78	76	0,6712	0,6888
	2	14	24	62	14,5033	109	108	0,7447	0,7516
	9	10	48	13	10,8217	150	141	1,3029	1,3861
	8	8	14	47	8,3117	138	128	1,5400	1,6603
	6	7	9	25	7,1917	142	130	1,8076	1,9745
	4	6	26	28	6,4800	147	135	2,0833	2,2685
3	5	6	6	5,1100	130	118	2,3092	2,5440	

Wippe 2		Zeit			Summe [min]	Soll-Wert Wippungen	Ist-Wert Wippungen	Ist-Wert [mm/min]	Soll-Wert [mm/min]
		[min]	[sec]	[hsec]					
Messung 1	1	35	38	97	35,7950	100	93	0,2598	0,2794
	3	31	46	62	31,8700	100	92	0,2887	0,3138
	5	21	7	22	21,1533	100	94	0,4444	0,4727
	4	13	22	52	13,4533	100	91	0,6764	0,7433
	2	9	32	14	9,5567	100	87	0,9104	1,0464
	6	8	56	80	9,0667	100	87	0,9596	1,1029
	7	6	20	89	6,4817	100	86	1,3268	1,5428
Messung 2	3	102	5	12	102,1033	111	100	0,0979	0,1087
	1	89	36	23	89,6383	107	100	0,1116	0,1194
	2	32	35	80	32,7167	108	100	0,3057	0,3301
	4	27	16	85	27,4083	107	111	0,4050	0,3904
	5	14	29	37	14,5450	112	105	0,7219	0,7700
	6	9	38	38	9,6967	120	105	1,0828	1,2375
	7	7	38	32	7,6867	116	99	1,2879	1,5091

Messwerte der dyn. Kalibrierung mit konstanter Druckhöhe

Einstellung Nr.	Messung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtyp:B						Sollwert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrekturfaktor c=  soll  I ist	Fehlerfaktor in [%]
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm³]	NS-Höhe [mm]		1/10* Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]	Istwert mittel [mm/min]		
		[min]	[sec]	[hsec]									
110	1	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	0,3	0,49073				
110	2	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	0,6	0,49945	0,49886	1,04475	4,475173	
110	3	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	1,0	0,49826				
120	1	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	0,3	0,54979				
120	2	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	0,6	0,55147	0,54987	1,04425	4,424647	
120	3	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	1,0	0,54835				
130	1	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	0,3	0,58804				
130	2	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	0,6	0,59308	0,59044	1,04769	4,769051	
130	3	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	1,0	0,59020				
140	1	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	0,3	0,64355				
140	2	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	0,6	0,62959	0,63636	1,03743	3,743353	
140	3	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	1,0	0,63593				
150	1	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	0,3	0,68002				
150	2	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	0,6	0,68246	0,68124	1,04271	4,270857	
150	3	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	1,0	0,68850				
160	1	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	0,3	0,74813				
160	2	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	0,6	0,74334	0,74097	1,01536	1,535973	
160	3	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	1,0	0,73144				
170	1	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	0,3	0,78878				
170	2	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	0,6	0,77603	0,77362	1,04036	4,035722	
170	3	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	1,0	0,77121				
180	1	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	0,3	0,80681				
180	2	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	0,6	0,80501	0,80591	1,05694	5,694006	
180	3	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	1,0	0,81378				
190	1	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	0,3	0,83760				
190	2	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	0,6	0,83847	0,83804	1,06495	6,494635	
190	3	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	1,0	0,84424				
200	1	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	0,3	0,89955				
200	2	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	0,6	0,89441	0,89459	1,06143	6,142622	
200	3	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	1,0	0,88981				

Einstellung Nr.	Messung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtyp:B						Sollwert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrekturfaktor c=  soll  I ist	Fehlerfaktor in [%]
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm³]	NS-Höhe [mm]		1/10* Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]	Istwert mittel [mm/min]		
		[min]	[sec]	[hsec]									
110	1	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	0,3	0,49073				
110	2	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	0,6	0,49945	0,49886	1,04475	4,475173	
110	3	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	1,0	0,49826				
120	1	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	0,3	0,54979				
120	2	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	0,6	0,55147	0,54987	1,04425	4,424647	
120	3	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	1,0	0,54835				
130	1	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	0,3	0,58804				
130	2	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	0,6	0,59308	0,59044	1,04769	4,769051	
130	3	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	1,0	0,59020				
140	1	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	0,3	0,64355				
140	2	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	0,6	0,62959	0,63636	1,03743	3,743353	
140	3	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	1,0	0,63593				
150	1	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	0,3	0,68002				
150	2	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	0,6	0,68246	0,68124	1,04271	4,270857	
150	3	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	1,0	0,68850				
160	1	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	0,3	0,74813				
160	2	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	0,6	0,74334	0,74097	1,01536	1,535973	
160	3	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	1,0	0,73144				
170	1	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	0,3	0,78878				
170	2	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	0,6	0,77603	0,77362	1,04036	4,035722	
170	3	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	1,0	0,77121				
180	1	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	0,3	0,80681				
180	2	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	0,6	0,80501	0,80591	1,05694	5,694006	
180	3	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	1,0	0,81378				
190	1	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	0,3	0,83760				
190	2	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	0,6	0,83847	0,83804	1,06495	6,494635	
190	3	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	1,0	0,84424				
200	1	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	0,3	0,89955				
200	2	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	0,6	0,89441	0,89459	1,06143	6,142622	
200	3	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	1,0	0,88981				

Messwerte der dyn. Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe Wippe 1 Messung 1

Einstellung Nr.	Messung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtyp:E						Sollwert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrekturfaktor c=  soll I ist	Fehlerfaktor in [%]
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm³]	NS-Höhe [mm]		1/10° Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]	Istwert mittel [mm/min]		
		[min]	[sec]	[hsec]									
10	1	03	15	40	28,8639	94,00000	1,88000	0,5	0,57318				
10	2	03	15	40	28,8639	94,00000	1,88000	1,0	0,57356	0,57420	1,00536	0,535942	
10	3	03	15	40	28,8639	94,00000	1,88000	1,5	0,57586				
20	1	03	12	12	55,9026	179,00000	3,58000	0,5	1,11400				
20	2	03	12	12	55,9026	179,00000	3,58000	1,0	1,10926	1,11163	1,00578	0,57764	
20	3	03	12	12	55,9026	179,00000	3,58000	1,5	1,10579				
30	1	02	16	98	80,5957	184,00000	3,68000	0,5	1,49925				
30	2	02	16	98	80,5957	184,00000	3,68000	1,0	1,49440	1,49780	1,07619	7,618784	
30	3	02	16	98	80,5957	184,00000	3,68000	1,5	1,49975				
40	1	01	38	08	106,4437	174,00000	3,48000	0,5	1,97493				
40	2	01	38	08	106,4437	174,00000	3,48000	1,0	1,95695	1,94914	1,09221	9,221215	
40	3	01	38	08	106,4437	174,00000	3,48000	1,5	1,94133				
50	1	01	12	20	135,4571	163,00000	3,26000	0,5	2,41158				
50	2	01	12	20	135,4571	163,00000	3,26000	1,0	2,40385	2,40302	1,12739	12,73918	
50	3	01	12	20	135,4571	163,00000	3,26000	1,5	2,39362				
60	1	01	06	87	160,6101	179,00000	3,58000	0,5	2,82752				
60	2	01	06	87	160,6101	179,00000	3,58000	1,0	2,86260	2,85716	1,12427	12,42662	
60	3	01	06	87	160,6101	179,00000	3,58000	1,5	2,85171				
70	1	01	02	98	187,6786	197,00000	3,94000	0,5	3,33704				
70	2	01	02	98	187,6786	197,00000	3,94000	1,0	3,27511	3,29536	1,13905	13,9049	
70	3	01	02	98	187,6786	197,00000	3,94000	1,5	3,27392				
80	1	00	55	92	214,5923	200,00000	4,00000	0,5	3,68098				
80	2	00	55	92	214,5923	200,00000	4,00000	1,0	3,85109	3,75550	1,14281	14,2815	
80	3	00	55	92	214,5923	200,00000	4,00000	1,5	3,73444				
90	1	00	51	02	242,2579	206,00000	4,12000	0,5	3,94737				
90	2	00	51	02	242,2579	206,00000	4,12000	1,0	3,90117	3,93197	1,23225	23,22471	
90	3	00	51	02	242,2579	206,00000	4,12000	1,5	3,94737				
100	1	00	45	67	274,5785	209,00000	4,18000	0,5	4,05954				
100	2	00	45	67	274,5785	209,00000	4,18000	1,0	4,36681	4,31915	1,27145	27,14484	
100	3	00	45	67	274,5785	209,00000	4,18000	1,5	4,27148				

Einstellung Nr.	Messung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtyp:E						Sollwert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrekturfaktor c=  soll I ist	Fehlerfaktor in [%]
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm³]	NS-Höhe [mm]		1/10° Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]	Istwert mittel [mm/min]		
		[min]	[sec]	[hsec]									
110	1	00	44	73	303,1522	226,00000	4,52000	1,0	4,62250				
110	2	00	44	73	303,1522	226,00000	4,52000	2,0	4,49944	4,56027	1,32954	32,95374	
110	3	00	44	73	303,1522	226,00000	4,52000	3,0	4,55886				
120	1				0,0000	0,00000	0,00000	1,0					
120	2				0,0000	0,00000	0,00000	2,0		0			
120	3				0,0000	0,00000	0,00000	3,0					
130	1				0,0000	0,00000	0,00000	1,0					
130	2				0,0000	0,00000	0,00000	2,0		0			
130	3				0,0000	0,00000	0,00000	3,0					
140	1				0,0000	0,00000	0,00000	1,0					
140	2				0,0000	0,00000	0,00000	2,0		0			
140	3				0,0000	0,00000	0,00000	3,0					
150	1				0,0000	0,00000	0,00000	1,0					
150	2				0,0000	0,00000	0,00000	2,0		0			
150	3				0,0000	0,00000	0,00000	3,0					
160	1				0,0000	0,00000	0,00000	1,0					
160	2				0,0000	0,00000	0,00000	2,0		0			
160	3				0,0000	0,00000	0,00000	3,0					
170	1				0,0000	0,00000	0,00000	1,0					
170	2				0,0000	0,00000	0,00000	2,0		0			
170	3				0,0000	0,00000	0,00000	3,0					
180	1				0,0000	0,00000	0,00000	1,0					
180	2				0,0000	0,00000	0,00000	2,0		0			
180	3				0,0000	0,00000	0,00000	3,0					
190	1				0,0000	0,00000	0,00000	1,0					
190	2				0,0000	0,00000	0,00000	2,0		0			
190	3				0,0000	0,00000	0,00000	3,0					
200	1				0,0000	0,00000	0,00000	1,0					
200	2				0,0000	0,00000	0,00000	2,0		0			
200	3				0,0000	0,00000	0,00000	3,0					

Messwerte der dyn. Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe Wippe 1 Messung 1

Ein- stel- lung Nr.	Mes- sung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtp:B					Soll wert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrektur faktor c= $\frac{\text{I Soll}}{\text{I Ist}}$	Fehler- Faktor in [%]	
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm <sup>3</sup> ]		NS-Höhe [mm]	1/10 <sup>n</sup> Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]			Istwert mittel [mm/min]
		[min]	[sec]	[hsec]									
10	1	08	53	90	2,4724	22,00000	0,44000	0,3	0,05091				
10	2	08	53	90	2,4724	22,00000	0,44000	0,6	0,05021	0,05061	0,97703	-2,297052	
10	3	08	53	90	2,4724	22,00000	0,44000	1,0	0,05071				
20	1	10	45	33	4,8126	51,76178	1,03524	0,3	0,10272				
20	2	10	45	33	4,8126	51,76178	1,03524	0,6	0,10321	0,10288	0,93557	-6,442715	
20	3	10	45	33	4,8126	51,76178	1,03524	1,0	0,10271				
30	1	08	19	19	7,0673	58,79858	1,17597	0,3	0,13893				
30	2	08	19	19	7,0673	58,79858	1,17597	0,6	0,14041	0,14068	1,00473	0,473115	
30	3	08	19	19	7,0673	58,79858	1,17597	1,0	0,14095				
40	1	08	06	49	9,2891	75,31725	1,50635	0,3	0,18454				
40	2	08	06	49	9,2891	75,31725	1,50635	0,6	0,18462	0,18474	1,00562	0,561798	
40	3	08	06	49	9,2891	75,31725	1,50635	1,0	0,18507				
50	1	09	10	30	12,0434	110,45805	2,20916	0,3	0,23244				
50	2	09	10	30	12,0434	110,45805	2,20916	0,6	0,23117	0,23190	1,03867	3,867181	
50	3	09	10	30	12,0434	110,45805	2,20916	1,0	0,23209				
60	1	06	35	02	14,2713	93,95719	1,87914	0,3	0,27788				
60	2	06	35	02	14,2713	93,95719	1,87914	0,6	0,28180	0,28156	1,01373	1,372745	
60	3	06	35	02	14,2713	93,95748	1,87915	1,0	0,28132				
70	1	07	18	69	16,1834	118,32502	2,36650	0,3	0,31618				
70	2	07	18	69	16,1834	118,32502	2,36650	0,6	0,31878	0,31800	1,01781	1,781399	
70	3	07	18	69	16,1834	118,32502	2,36650	1,0	0,31905				
80	1	06	22	80	18,7692	119,74769	2,39495	0,3	0,36334				
80	2	06	22	80	18,7692	119,74769	2,39495	0,6	0,36474	0,36397	1,03136	3,136142	
80	3	06	22	80	18,7692	119,74769	2,39495	1,0	0,36383				
90	1	06	49	57	21,1237	144,19392	2,88388	0,3	0,40956				
90	2	06	49	57	21,1237	144,19392	2,88388	0,6	0,40536	0,40981	1,03090	3,090231	
90	3	06	49	57	21,1237	144,19392	2,88388	1,0	0,41006				
100	1	05	39	93	23,5260	133,28652	2,66573	0,3	0,46997				
100	2	05	39	93	23,5260	133,28652	2,66573	0,6	0,46350	0,46286	1,01656	1,656004	
100	3	05	39	93	23,5260	133,28652	2,66573	1,0	0,46221				

Ein- stel- lung Nr.	Mes- sung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtp:B					Soll wert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrektur faktor c= $\frac{\text{I Soll}}{\text{I Ist}}$	Fehler- Faktor in [%]	
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm <sup>3</sup> ]		NS-Höhe [mm]	1/10 <sup>n</sup> Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]			Istwert mittel [mm/min]
		[min]	[sec]	[hsec]									
110	1	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	0,3	0,51399				
110	2	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	0,6	0,52562	0,51526	1,01149	1,148862	
110	3	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	1,0	0,51653				
120	1	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	0,3	0,58083				
120	2	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	0,6	0,56845	0,56888	1,00935	0,935137	
120	3	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	1,0	0,56931				
130	1	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	0,3	0,60586				
130	2	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	0,6	0,60770	0,60678	1,01948	1,947721	
130	3	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	1,0	0,59988				
140	1	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	0,3	0,63851				
140	2	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	0,6	0,64297	0,63981	1,03183	3,182867	
140	3	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	1,0	0,63796				
150	1	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	0,3	0,69311				
150	2	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	0,6	0,68611	0,68870	1,03141	3,140896	
150	3	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	1,0	0,68689				
160	1	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	0,3	0,71429				
160	2	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	0,6	0,72347	0,72275	1,04096	4,096341	
160	3	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	1,0	0,72202				
170	1	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	0,3	0,77453				
170	2	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	0,6	0,76825	0,77090	1,04403	4,402795	
170	3	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	1,0	0,76992				
180	1	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	0,3	0,79260				
180	2	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	0,6	0,80717	0,80616	1,05661	5,661229	
180	3	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	1,0	0,80515				
190	1	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	0,3	0,84706				
190	2	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	0,6	0,84786	0,84710	1,05355	5,355013	
190	3	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	1,0	0,84638				
200	1	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	0,3	0,89508				
200	2	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	0,6	0,88670	0,89102	1,06568	6,568297	
200	3	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	1,0	0,89127				

Messwerte der dyn. Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe Wippe 1 Messung 2

Ein- stel- lung Nr.	Mes- sung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtyp:E						Soll wert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrektur faktor c=  soll I ist	Fehler- Faktor in [%]
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm³]	NS-Höhe [mm]		1/10° Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]	Istwert mittel [mm/min]		
		[min]	[sec]	[hsec]									
10	1	03	15	40	28,8639	94,00000	1,88000	0,57728	0,5	0,57405	0,94899	-5,100668	
10	2	03	15	40	28,8639	94,00000	1,88000		1,0	0,60932			
10	3	03	15	40	28,8639	94,00000	1,88000		1,5	0,60729			
20	1	03	12	12	55,9026	179,00000	3,58000	1,11805	0,5	1,16369	0,96179	-3,820793	
20	2	03	12	12	55,9026	179,00000	3,58000		1,0	1,16122			
20	3	03	12	12	55,9026	179,00000	3,58000		1,5	1,16249			
30	1	02	16	98	80,5957	184,00000	3,68000	1,61191	0,5	1,52827	1,05201	5,200992	
30	2	02	16	98	80,5957	184,00000	3,68000		1,0	1,53413			
30	3	02	16	98	80,5957	184,00000	3,68000		1,5	1,53427			
40	1	01	38	08	106,4437	174,00000	3,48000	2,12887	0,5	2,00401	1,07413	7,413394	
40	2	01	38	08	106,4437	174,00000	3,48000		1,0	1,98282			
40	3	01	38	08	106,4437	174,00000	3,48000		1,5	1,98107			
50	1	01	12	20	135,4571	163,00000	3,26000	2,70914	0,5	2,49169	1,08822	8,822269	
50	2	01	12	20	135,4571	163,00000	3,26000		1,0	2,48859			
50	3	01	12	20	135,4571	163,00000	3,26000		1,5	2,48825			
60	1	01	06	87	160,6101	179,00000	3,58000	3,21220	0,5	2,89855	1,10892	10,8918	
60	2	01	06	87	160,6101	179,00000	3,58000		1,0	2,88739			
60	3	01	06	87	160,6101	179,00000	3,58000		1,5	2,90416			
70	1	01	02	98	187,6786	197,00000	3,94000	3,75357	0,5	3,34076	1,11857	11,85662	
70	2	01	02	98	187,6786	197,00000	3,94000		1,0	3,35570			
70	3	01	02	98	187,6786	197,00000	3,94000		1,5	3,35570			
80	1	00	55	92	214,5923	200,00000	4,00000	4,29185	0,5	3,71747	1,14716	14,71627	
80	2	00	55	92	214,5923	200,00000	4,00000		1,0	3,74065			
80	3	00	55	92	214,5923	200,00000	4,00000		1,5	3,76569			
90	1	00	51	02	242,2579	206,00000	4,12000	4,84516	0,5	4,20168	1,16386	16,38595	
90	2	00	51	02	242,2579	206,00000	4,12000		1,0	4,15512			
90	3	00	51	02	242,2579	206,00000	4,12000		1,5	4,13223			
100	1	00	45	67	274,5785	209,00000	4,18000	5,49157	0,5	4,57317	1,20377	20,3769	
100	2	00	45	67	274,5785	209,00000	4,18000		1,0	4,55581			
100	3	00	45	67	274,5785	209,00000	4,18000		1,5	4,55696			

Ein- stel- lung Nr.	Mes- sung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtyp:B						Soll wert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrektur faktor c=  soll I ist	Fehler- Faktor in [%]
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm³]	NS-Höhe [mm]		1/10° Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]	Istwert mittel [mm/min]		
		[min]	[sec]	[hsec]									
110	1	00	44	73	303,1522	226,00000	4,52000	6,06304	1,0	5,50664	1,20256	20,25616	
110	2	00	44	73	303,1522	226,00000	4,52000		2,0	5,06543			
110	3	00	44	73	303,1522	226,00000	4,52000		3,0	5,01812			
120	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
120	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
120	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
130	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
130	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
130	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
140	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
140	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
140	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
150	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
150	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
150	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
160	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
160	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
160	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
170	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
170	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
170	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
180	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
180	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
180	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
190	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
190	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
190	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
200	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
200	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
200	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				

Messwerte der dyn. Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe Wippe 1 Messung 2

Einstellung Nr.	Messung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtyp:B					Sollwert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrekturfaktor c=  soll  I ist	Fehlerfaktor in [%]	
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm³]		NS-Höhe [mm]	1/10° Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]			Istwert mittel [mm/min]
		[min]	[sec]	[hsec]									
10	1	08	53	90	2,4724	22,00000	0,44000	0,3	0,04656				
10	2	08	53	90	2,4724	22,00000	0,44000	0,6	0,04343	0,04643	1,06499	6,498949	
10	3	08	53	90	2,4724	22,00000	0,44000	1,0	0,04630				
20	1	10	45	33	4,8126	51,76178	1,03524	0,3	0,09530				
20	2	10	45	33	4,8126	51,76178	1,03524	0,6	0,09612	0,09602	1,00241	0,241341	
20	3	10	45	33	4,8126	51,76178	1,03524	1,0	0,09664				
30	1	08	19	19	7,0673	58,79858	1,17597	0,3	0,13089				
30	2	08	19	19	7,0673	58,79858	1,17597	0,6	0,13014	0,13085	1,08024	8,023828	
30	3	08	19	19	7,0673	58,79858	1,17597	1,0	0,13151				
40	1	08	06	49	9,2891	75,31725	1,50635	0,3	0,17633				
40	2	08	06	49	9,2891	75,31725	1,50635	0,6	0,17299	0,17577	1,05696	5,695635	
40	3	08	06	49	9,2891	75,31725	1,50635	1,0	0,17521				
50	1	09	10	30	12,0434	110,45805	2,20916	0,3	0,21949				
50	2	09	10	30	12,0434	110,45805	2,20916	0,6	0,21735	0,21968	1,09645	9,644935	
50	3	09	10	30	12,0434	110,45805	2,20916	1,0	0,21987				
60	1	06	35	02	14,2713	93,95719	1,87914	0,3	0,26300				
60	2	06	35	02	14,2713	93,95719	1,87914	0,6	0,26131	0,26239	1,08780	8,780337	
60	3	06	35	02	14,2713	93,95748	1,87915	1,0	0,26285				
70	1	07	18	69	16,1834	118,32502	2,36650	0,3	0,31436				
70	2	07	18	69	16,1834	118,32502	2,36650	0,6	0,30628	0,30565	1,05895	5,895056	
70	3	07	18	69	16,1834	118,32502	2,36650	1,0	0,30502				
80	1	06	22	80	18,7692	119,74769	2,39495	0,3	0,34911				
80	2	06	22	80	18,7692	119,74769	2,39495	0,6	0,35043	0,34993	1,07275	7,275224	
80	3	06	22	80	18,7692	119,74769	2,39495	1,0	0,35024				
90	1	06	49	57	21,1237	144,19392	2,88388	0,3	0,39465				
90	2	06	49	57	21,1237	144,19392	2,88388	0,6	0,39323	0,39330	1,07417	7,416857	
90	3	06	49	57	21,1237	144,19392	2,88388	1,0	0,39203				
100	1	05	39	93	23,5260	133,28652	2,66573	0,3	0,44074				
100	2	05	39	93	23,5260	133,28652	2,66573	0,6	0,43300	0,43261	1,08764	8,764322	
100	3	05	39	93	23,5260	133,28652	2,66573	1,0	0,43221				

Einstellung Nr.	Messung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtyp:B					Sollwert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrekturfaktor c=  soll  I ist	Fehlerfaktor in [%]	
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm³]		NS-Höhe [mm]	1/10° Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]			Istwert mittel [mm/min]
		[min]	[sec]	[hsec]									
110	1	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	0,3	0,47170				
110	2	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	0,6	0,47500	0,47327	1,10123	10,12311	
110	3	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	1,0	0,47311				
120	1	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	0,3	0,51665				
120	2	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	0,6	0,52432	0,51769	1,10917	10,91683	
120	3	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	1,0	0,51872				
130	1	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	0,3	0,57343				
130	2	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	0,6	0,56162	0,56436	1,09610	9,609953	
130	3	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	1,0	0,55804				
140	1	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	0,3	0,61371				
140	2	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	0,6	0,60955	0,60811	1,08562	8,561629	
140	3	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	1,0	0,60108				
150	1	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	0,3	0,68259				
150	2	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	0,6	0,65419	0,65132	1,09062	9,061635	
150	3	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	1,0	0,64844				
160	1	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	0,3	0,68886				
160	2	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	0,6	0,70478	0,68713	1,09492	9,491813	
160	3	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	1,0	0,68540				
170	1	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	0,3	0,73380				
170	2	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	0,6	0,70080	0,73659	1,09267	9,266568	
170	3	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	1,0	0,73937				
180	1	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	0,3	0,76694				
180	2	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	0,6	0,76628	0,76661	1,11112	11,11237	
180	3	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	1,0	0,77882				
190	1	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	0,3	0,82873				
190	2	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	0,6	0,79840	0,81250	1,09842	9,841515	
190	3	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	1,0	0,81037				
200	1	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	0,3	0,84826				
200	2	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	0,6	0,85430	0,85377	1,11218	11,21789	
200	3	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	1,0	0,85874				

Messwerte der dyn. Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe Wippe 2 Messung 1

Ein- stel- lung Nr.	Mes- sung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtyp:E						Soll wert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrektur faktor c=  soll I ist	Fehler- Faktor in [%]
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm³]	NS-Höhe [mm]		1/10° Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]	Istwert mittel [mm/min]		
		[min]	[sec]	[hsec]									
10	1	03	15	40	28,8639	94,00000	1,88000	0,57728	0,5	0,54044	0,53481	1,07941	7,940648
10	2	03	15	40	28,8639	94,00000	1,88000		1,0	0,53400			
10	3	03	15	40	28,8639	94,00000	1,88000		1,5	0,53562			
20	1	03	12	12	55,9026	179,00000	3,58000	1,11805	0,5	1,00167	1,01000	1,10698	10,69778
20	2	03	12	12	55,9026	179,00000	3,58000		1,0	1,01368			
20	3	03	12	12	55,9026	179,00000	3,58000		1,5	1,01466			
30	1	02	16	98	80,5957	184,00000	3,68000	1,61191	0,5	1,31637	1,32851	1,21332	21,33248
30	2	02	16	98	80,5957	184,00000	3,68000		1,0	1,32861			
30	3	02	16	98	80,5957	184,00000	3,68000		1,5	1,32841			
40	1	01	38	08	106,4437	174,00000	3,48000	2,12887	0,5	1,76678	1,75392	1,21378	21,37785
40	2	01	38	08	106,4437	174,00000	3,48000		1,0	1,75182			
40	3	01	38	08	106,4437	174,00000	3,48000		1,5	1,74317			
50	1	01	12	20	135,4571	163,00000	3,26000	2,70914	0,5	2,16763	2,16724	1,25004	25,00421
50	2	01	12	20	135,4571	163,00000	3,26000		1,0	2,16685			
50	3	01	12	20	135,4571	163,00000	3,26000		1,5	2,17918			
60	1	01	06	87	160,6101	179,00000	3,58000	3,21220	0,5	2,56191	2,56301	1,25330	25,32956
60	2	01	06	87	160,6101	179,00000	3,58000		1,0	2,57290			
60	3	01	06	87	160,6101	179,00000	3,58000		1,5	2,56410			
70	1	01	02	98	187,6786	197,00000	3,94000	3,75357	0,5	2,96736	2,96663	1,26527	26,52669
70	2	01	02	98	187,6786	197,00000	3,94000		1,0	2,96589			
70	3	01	02	98	187,6786	197,00000	3,94000		1,5	2,93542			
80	1	00	55	92	214,5923	200,00000	4,00000	4,29185	0,5	3,39367	3,41520	1,25669	25,66894
80	2	00	55	92	214,5923	200,00000	4,00000		1,0	3,42466			
80	3	00	55	92	214,5923	200,00000	4,00000		1,5	3,42727			
90	1	00	51	02	242,2579	206,00000	4,12000	4,84516	0,5	3,72671	3,80273	1,27413	27,41281
90	2	00	51	02	242,2579	206,00000	4,12000		1,0	3,79027			
90	3	00	51	02	242,2579	206,00000	4,12000		1,5	3,81518			
100	1	00	45	67	274,5785	209,00000	4,18000	5,49157	0,5	4,20168	4,20791	1,30506	30,50588
100	2	00	45	67	274,5785	209,00000	4,18000		1,0	4,21644			
100	3	00	45	67	274,5785	209,00000	4,18000		1,5	4,20561			

Ein- stel- lung Nr.	Mes- sung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtyp:B						Soll wert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrektur faktor c=  soll I ist	Fehler- Faktor in [%]
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm³]	NS-Höhe [mm]		1/10° Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]	Istwert mittel [mm/min]		
		[min]	[sec]	[hsec]									
110	1	00	44	73	303,1522	226,00000	4,52000	6,06304	1,0	4,58716	4,58155	1,32336	32,3362
110	2	00	44	73	303,1522	226,00000	4,52000		2,0	4,56447			
110	3	00	44	73	303,1522	226,00000	4,52000		3,0	4,59301			
120	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
120	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
120	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
130	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
130	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
130	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
140	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
140	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
140	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
150	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
150	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
150	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
160	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
160	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
160	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
170	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
170	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
170	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
180	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
180	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
180	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
190	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
190	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
190	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
200	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
200	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
200	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				

Messwerte der dyn. Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe Wippe 2 Messung 1

Einstellung Nr.	Messung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtyp:B					Sollwert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrekturfaktor c=  soll  I ist	Fehlerfaktor in [%]	
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm <sup>3</sup> ]		NS-Höhe [mm]	1/10° Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]			Istwert mittel [mm/min]
		[min]	[sec]	[hsec]									
10	1	08	53	90	2,4724	22,00000	0,44000	0,3	0,04656				
10	2	08	53	90	2,4724	22,00000	0,44000	0,6	0,04343	0,04643	1,06499	6,498949	
10	3	08	53	90	2,4724	22,00000	0,44000	1,0	0,04630				
20	1	10	45	33	4,8126	51,76178	1,03524	0,3	0,09530				
20	2	10	45	33	4,8126	51,76178	1,03524	0,6	0,09612	0,09602	1,00241	0,241341	
20	3	10	45	33	4,8126	51,76178	1,03524	1,0	0,09664				
30	1	08	19	19	7,0673	58,79858	1,17597	0,3	0,13089				
30	2	08	19	19	7,0673	58,79858	1,17597	0,6	0,13014	0,13085	1,08024	8,023828	
30	3	08	19	19	7,0673	58,79858	1,17597	1,0	0,13151				
40	1	08	06	49	9,2891	75,31725	1,50635	0,3	0,17633				
40	2	08	06	49	9,2891	75,31725	1,50635	0,6	0,17299	0,17577	1,05696	5,695635	
40	3	08	06	49	9,2891	75,31725	1,50635	1,0	0,17521				
50	1	09	10	30	12,0434	110,45805	2,20916	0,3	0,21949				
50	2	09	10	30	12,0434	110,45805	2,20916	0,6	0,21735	0,21968	1,09645	9,644935	
50	3	09	10	30	12,0434	110,45805	2,20916	1,0	0,21987				
60	1	06	35	02	14,2713	93,95719	1,87914	0,3	0,26300				
60	2	06	35	02	14,2713	93,95719	1,87914	0,6	0,26131	0,26239	1,08780	8,780337	
60	3	06	35	02	14,2713	93,95748	1,87915	1,0	0,26285				
70	1	07	18	69	16,1834	118,32502	2,36650	0,3	0,31436				
70	2	07	18	69	16,1834	118,32502	2,36650	0,6	0,30628	0,30565	1,05895	5,895056	
70	3	07	18	69	16,1834	118,32502	2,36650	1,0	0,30502				
80	1	06	22	80	18,7692	119,74769	2,39495	0,3	0,34911				
80	2	06	22	80	18,7692	119,74769	2,39495	0,6	0,35043	0,34993	1,07275	7,275224	
80	3	06	22	80	18,7692	119,74769	2,39495	1,0	0,35024				
90	1	06	49	57	21,1237	144,19392	2,88388	0,3	0,39465				
90	2	06	49	57	21,1237	144,19392	2,88388	0,6	0,39323	0,39330	1,07417	7,416857	
90	3	06	49	57	21,1237	144,19392	2,88388	1,0	0,39203				
100	1	05	39	93	23,5260	133,28652	2,66573	0,3	0,44074				
100	2	05	39	93	23,5260	133,28652	2,66573	0,6	0,43300	0,43261	1,08764	8,764322	
100	3	05	39	93	23,5260	133,28652	2,66573	1,0	0,43221				

Einstellung Nr.	Messung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtyp:B					Sollwert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrekturfaktor c=  soll  I ist	Fehlerfaktor in [%]	
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm <sup>3</sup> ]		NS-Höhe [mm]	1/10° Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]			Istwert mittel [mm/min]
		[min]	[sec]	[hsec]									
110	1	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	0,3	0,47170				
110	2	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	0,6	0,47500	0,47327	1,10123	10,12311	
110	3	06	13	00	26,0590	162,00000	3,24000	1,0	0,47311				
120	1	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	0,3	0,51665				
120	2	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	0,6	0,52432	0,51769	1,10917	10,91683	
120	3	05	09	30	28,7100	148,00000	2,96000	1,0	0,51872				
130	1	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	0,3	0,57343				
130	2	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	0,6	0,56162	0,56436	1,09610	9,609953	
130	3	04	56	80	30,9299	153,00000	3,06000	1,0	0,55804				
140	1	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	0,3	0,61371				
140	2	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	0,6	0,60955	0,60811	1,08562	8,561629	
140	3	03	56	30	33,0089	130,00000	2,60000	1,0	0,60108				
150	1	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	0,3	0,68259				
150	2	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	0,6	0,65419	0,65132	1,09062	9,061635	
150	3	03	26	10	35,5167	122,00000	2,44000	1,0	0,64844				
160	1	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	0,3	0,68886				
160	2	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	0,6	0,70478	0,68713	1,09492	9,491813	
160	3	03	43	30	37,6176	140,00000	2,80000	1,0	0,68540				
170	1	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	0,3	0,73380				
170	2	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	0,6	0,70080	0,73659	1,09267	9,266568	
170	3	03	18	30	40,2421	133,00000	2,66000	1,0	0,73937				
180	1	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	0,3	0,76694				
180	2	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	0,6	0,76628	0,76661	1,11112	11,11237	
180	3	03	28	50	42,5899	148,00000	2,96000	1,0	0,77882				
190	1	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	0,3	0,82873				
190	2	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	0,6	0,79840	0,81250	1,09842	9,841515	
190	3	03	19	00	44,6231	148,00000	2,96000	1,0	0,81037				
200	1	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	0,3	0,84826				
200	2	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	0,6	0,85430	0,85377	1,11218	11,21789	
200	3	02	54	40	47,4771	138,00000	2,76000	1,0	0,85874				

Messwerte der dyn. Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe Wippe 2 Messung 2

Einstellung Nr.	Messung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtpe:E						Sollwert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrekturfaktor $c = \frac{I_{soll}}{I_{ist}}$	Fehlerfaktor in [%]
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm³]	NS-Höhe [mm]		1/10° Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]	Istwert mittel [mm/min]		
		[min]	[sec]	[hsec]									
10	1	03	15	40	28,8639	94,00000	1,88000	0,57728	0,5	0,54875	0,55624	1,03781	3,781447
10	2	03	15	40	28,8639	94,00000	1,88000		1,0	0,56038			
10	3	03	15	40	28,8639	94,00000	1,88000		1,5	0,55960			
20	1	03	12	12	55,9026	179,00000	3,58000	1,11805	0,5	1,08186	1,08362	1,03177	3,177108
20	2	03	12	12	55,9026	179,00000	3,58000		1,0	1,08637			
20	3	03	12	12	55,9026	179,00000	3,58000		1,5	1,08264			
30	1	02	16	98	80,5957	184,00000	3,68000	1,61191	0,5	1,44370	1,42197	1,13358	13,35808
30	2	02	16	98	80,5957	184,00000	3,68000		1,0	1,41243			
30	3	02	16	98	80,5957	184,00000	3,68000		1,5	1,40977			
40	1	01	38	08	106,4437	174,00000	3,48000	2,12887	0,5	1,99468	1,98085	1,07473	7,472952
40	2	01	38	08	106,4437	174,00000	3,48000		1,0	1,98151			
40	3	01	38	08	106,4437	174,00000	3,48000		1,5	1,96635			
50	1	01	12	20	135,4571	163,00000	3,26000	2,70914	0,5	2,43507	2,51510	1,07715	7,715052
50	2	01	12	20	135,4571	163,00000	3,26000		1,0	2,52951			
50	3	01	12	20	135,4571	163,00000	3,26000		1,5	2,50069			
60	1	01	06	87	160,6101	179,00000	3,58000	3,21220	0,5	3,00601	3,00501	1,06895	6,89503
60	2	01	06	87	160,6101	179,00000	3,58000		1,0	3,00601			
60	3	01	06	87	160,6101	179,00000	3,58000		1,5	3,00300			
70	1	01	02	98	187,6786	197,00000	3,94000	3,75357	0,5	3,33333	3,34305	1,12280	12,27999
70	2	01	02	98	187,6786	197,00000	3,94000		1,0	3,34635			
70	3	01	02	98	187,6786	197,00000	3,94000		1,5	3,34946			
80	1	00	55	92	214,5923	200,00000	4,00000	4,29185	0,5	3,60144	3,54305	1,21134	21,13419
80	2	00	55	92	214,5923	200,00000	4,00000		1,0	3,54191			
80	3	00	55	92	214,5923	200,00000	4,00000		1,5	3,54419			
90	1	00	51	02	242,2579	206,00000	4,12000	4,84516	0,5	3,95257	3,94393	1,22851	22,85103
90	2	00	51	02	242,2579	206,00000	4,12000		1,0	3,94737			
90	3	00	51	02	242,2579	206,00000	4,12000		1,5	3,93185			
100	1	00	45	67	274,5785	209,00000	4,18000	5,49157	0,5	4,24478	4,37761	1,25447	25,44676
100	2	00	45	67	274,5785	209,00000	4,18000		1,0	4,40529			
100	3	00	45	67	274,5785	209,00000	4,18000		1,5	4,34993			

Einstellung Nr.	Messung Nr.	Pumpendurchfluß MCP-360 Schlauchtpe:E						Sollwert mittel [mm/min]	Wippenmessung			Korrekturfaktor $c = \frac{I_{soll}}{I_{ist}}$	Fehlerfaktor in [%]
		Meßzeit			Durchfluß [ml/min]	Volumen [cm³]	NS-Höhe [mm]		1/10° Anzahl Höhe [mm]	Istwert einzel [mm/min]	Istwert mittel [mm/min]		
		[min]	[sec]	[hsec]									
110	1	00	44	73	303,1522	226,00000	4,52000	6,06304	1,0	4,70588	4,70486	1,28868	28,86779
110	2	00	44	73	303,1522	226,00000	4,52000		2,0	4,70404			
110	3	00	44	73	303,1522	226,00000	4,52000		3,0	4,70465			
120	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
120	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
120	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
130	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
130	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
130	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
140	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
140	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
140	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
150	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
150	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
150	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
160	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
160	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
160	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
170	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
170	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
170	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
180	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
180	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
180	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
190	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
190	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
190	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				
200	1				0,0000	0,00000	0,00000	0,00000	1,0		0		
200	2				0,0000	0,00000	0,00000		2,0				
200	3				0,0000	0,00000	0,00000		3,0				

Messwerte der dyn. Kalibrierung mit Schlauchquetschpumpe Wippe 2 Messung 2



WIPPE 1	Schlauchquetschpumpe						Dynamische Kalibrierung					
	Messung1			Messung2			Messung1			Messung2		
	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]
28.05.2004	20,00	-	-	20,00	-	-	20,00	-	-	20,00	-	-
Ohne Korrektur	20,88	0,88	4,42	20,79	0,79	3,93	20,89	0,89	4,46	21,69	1,69	8,43
Lineare Korrektur	18,57	-1,43	-7,13	18,89	-1,11	-5,57	20,10	0,10	0,49	19,60	-0,40	-2,00
Lineare Korrektur	18,33	-1,67	-8,35	18,77	-1,23	-6,17	19,32	-0,68	-3,39	18,21	-1,79	-8,97
Potenzielle Korrektur	19,05	-0,95	-4,73	19,29	-0,71	-3,53	-	-	-	-	-	-
Potenzielle Korrektur	18,74	-1,26	-6,28	19,71	-0,29	-1,46	20,11	0,11	0,53	20,01	0,01	0,03
Polynomische Korrektur	20,10	0,10	0,50	19,65	-0,35	-1,74	-	-	-	-	-	-
Polynomische Korrektur	21,80	1,80	8,99	20,06	0,06	0,31	19,23	-0,77	-3,85	18,84	-1,16	-5,79
Waage Kluswmannig.	15,50	-4,50	-22,50									

WIPPE 2	Schlauchquetschpumpe						Dynamische Kalibrierung					
	Messung1			Messung2			Messung1			Messung2		
	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]
9.04.40.2.06.04	127,20	-	-	127,20	-	-	127,20	-	-	127,20	-	-
Ohne Korrektur	136,51	9,31	7,32	139,96	12,76	10,03	145,42	18,22	14,32	144,38	17,18	13,51
Lineare Korrektur	139,83	12,63	9,93	137,16	9,96	7,83	140,30	13,10	10,30	129,29	2,09	1,65
Lineare Korrektur	135,10	7,90	6,21	136,38	9,18	7,22	126,83	-0,37	-0,29	123,65	-3,55	-2,79
Potenzielle Korrektur	136,95	9,75	7,66	137,26	10,06	7,91	-	-	-	-	-	-
Potenzielle Korrektur	143,25	16,05	12,62	125,37	-1,83	-1,44	128,91	1,71	1,35	128,71	1,51	1,19
Polynomische Korrektur	138,03	10,83	8,51	134,72	7,52	5,91	-	-	-	-	-	-
Polynomische Korrektur	139,06	11,86	9,33	141,05	13,85	10,88	134,71	7,51	5,91	126,29	-0,91	-0,72
Waage Kluswmannig.	108,60	-18,60	-14,62									

WIPPE 2	Schlauchquetschpumpe						Dynamische Kalibrierung					
	Messung1			Messung2			Messung1			Messung2		
	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]
22.05.2004	<b>35,10</b>			<b>35,10</b>			<b>35,10</b>			<b>35,10</b>		
Ohne Korrektur	37,86	2,76	7,85	37,82	2,72	7,76	40,13	5,03	14,32	39,84	4,74	13,51
Lineare Korrektur	38,62	3,52	10,02	37,82	2,72	7,76	39,14	4,04	11,52	36,34	1,24	3,53
Lineare Korrektur	38,06	2,96	8,44	37,95	2,85	8,11	35,30	0,20	0,56	34,35	-0,75	-2,14
Potenzielle Korrektur	38,22	3,12	8,90	38,09	2,99	8,53	-	-	-	-	-	-
Potenzielle Korrektur	39,70	4,60	13,10	34,84	-0,26	-0,75	35,68	0,58	1,65	36,15	1,05	3,01
Polynomische Korrektur	38,41	3,31	9,43	37,24	2,14	6,09	-	-	-	-	-	-
Polynomische Korrektur	38,67	3,57	10,17	38,73	3,63	10,34	37,76	2,66	7,59	34,86	-0,24	-0,69
Waage Kluswmanng.	<b>33,00</b>	-2,10	-5,98									

WIPPE 2	Schlauchquetschpumpe						Dynamische Kalibrierung					
	Messung1			Messung2			Messung1			Messung2		
	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]	Niederschlags höhe	Fehler [mm]	Fehler [%]
28.05.2004	<b>18,10</b>			<b>18,10</b>			<b>18,10</b>			<b>18,10</b>		
Ohne Korrektur	18,89	0,79	4,37	19,93	1,83	10,13	20,69	2,59	14,32	20,55	2,45	13,51
Lineare Korrektur	19,85	1,75	9,68	19,45	1,35	7,46	19,46	1,36	7,53	20,07	1,97	10,90
Lineare Korrektur	17,69	-0,41	-2,26	18,79	0,69	3,79	17,46	-0,64	-3,56	17,14	-0,96	-5,30
Potenzielle Korrektur	18,83	0,73	4,05	19,13	1,03	5,68	-	-	-	-	-	-
Potenzielle Korrektur	20,15	2,05	11,30	17,50	-0,60	-3,32	18,19	0,09	0,51	17,42	-0,68	-3,73
Polynomische Korrektur	19,30	1,20	6,62	18,82	0,72	3,99	-	-	-	-	-	-
Polynomische Korrektur	19,37	1,27	6,99	20,37	2,27	12,51	18,25	0,15	0,80	17,96	-0,14	-0,77
Waage Kluswmanng.	<b>15,50</b>	-2,60	-14,36									

<b>WIPPE 1</b>		Schlauchquetschpumpe Messung 2		
		<b>Lineare Korrektur 0-7mm/min Nr.1</b>		
Intensität i [mm/min]		A	B	R <sup>2</sup>
von	bis			
0,000000	0,891020	1,0393	0,0000	0,9989
0,891020	1,162470	0,6208	0,3964	1,0000
1,162470	4,163010	4,1631	-0,3081	0,9992
4,163010	5,041780	1,3794	-0,8634	0,9922
		<b>Lineare Korrektur 0-1mm/min Nr.2</b>		
0,000000	0,102880	0,9437	0,0000	0,9992
0,102880	0,231900	1,1090	-0,0170	0,9990
0,231900	0,515260	1,0030	0,0069	0,9990
0,515260	0,891020	1,1432	-0,0733	9,9994

Tabellarische Darstellung der Kalibrierparametern A und B und der Korrelationskoeffizienten der Linearen Regressionsgeraden der Wippe 1 Messung 2

<b>WIPPE 2</b>			Schlauchquetschpumpe		Dynamische Kalibrierung	
			Messung 1	Messung 2	Messung 1	Messung 2
<b>y=Ax</b>	A	Nr.1	-	-	1,1432	1,1351
	R <sup>2</sup>		-	-	0,9977	0,9996
<b>Potentielle Korrektur y=AxB</b>	A	Nr.1	1,1591	1,1104	1,1418	1,1036
	B		1,0574	1,0227	1,0514	1,0183
	R <sup>2</sup>		0,9993	0,9989	0,9994	0,9968
	A	Nr.2	1,1063	1,1021	-	-
	B		1,0295	1,0141	-	-
	R <sup>2</sup>		0,9996	0,9989	-	-
<b>Polynomische Korrektur y=Ax<sup>2</sup>+Bx</b>	A	Nr.1	0,0465	0,0651	0,0852	0,1704
	B		1,1104	0,9631	1,0561	0,9530
	R <sup>2</sup>		0,9996	0,9977	0,9995	0,9992
	A	Nr.2	0,0510	0,1033	-	-
	B		1,0633	1,0340	-	-
	R <sup>2</sup>		0,9997	0,9995	-	-
<b>Polynomische Korrektur y=Ax<sup>3</sup>+Bx<sup>2</sup>+Cx</b>	A	Nr.3	-0,0069	0,0235	-0,0797	0,0609
	B		0,0857	-0,0731	0,2333	0,0641
	C		1,0651	1,1292	0,9951	0,9923
	R <sup>2</sup>		0,9997	0,9991	0,9997	0,9993

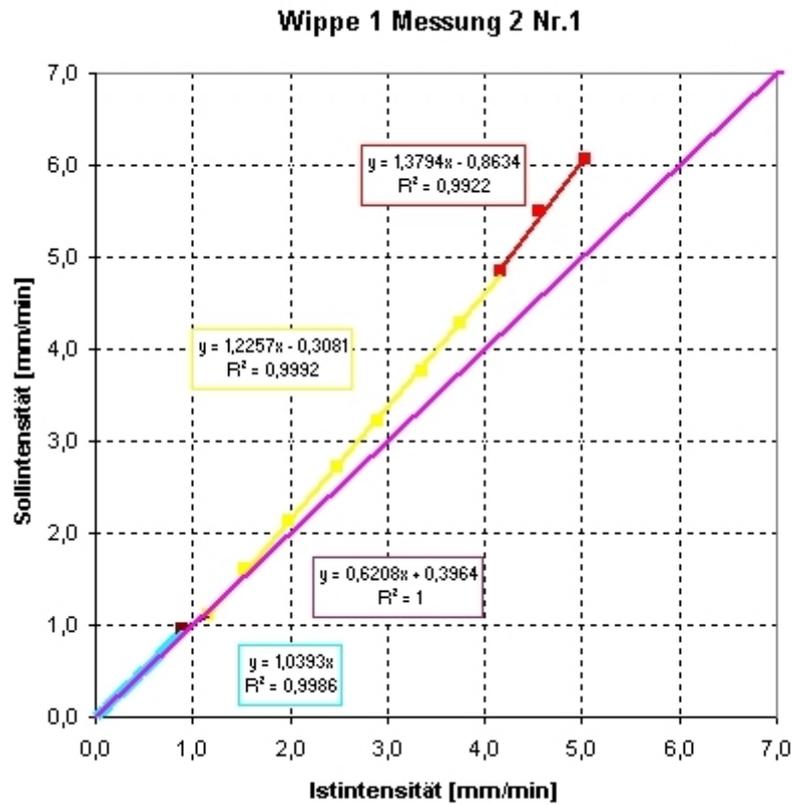
Tabellarische Darstellung der Kalibrierparametern A und B und der Korrelationskoeffizienten der Wippe 2

<b>WIPPE 2</b>		Schlauchquetschpumpe Messung 1		
		<b>Lineare Korrektur 0-7mm/min Nr.1</b>		
Intensität i [mm/min]		A	B	R <sup>2</sup>
von	bis			
0,000000	0,101000	1,0985	0,0000	0,9995
0,101000	1,328510	1,5506	-0,4480	1,0000
1,328510	2,966625	1,3135	-0,1486	0,9996
2,966625	4,207910	1,4004	-0,4454	0,9957
4,207910	4,581547	1,5295	-0,9444	1,0000
		<b>Lineare Korrektur 0-1mm/min Nr.2</b>		
0,000000	0,046430	1,0650	0,0000	1,0000
0,046430	0,096020	0,9438	0,0056	1,0000
0,096020	0,432610	1,0909	-0,0044	0,9991
0,432610	0,517690	1,2182	-0,0561	0,9998
0,517690	0,736590	1,0644	0,0188	0,9982
0,736590	0,853770	1,1873	-0,0661	0,9900

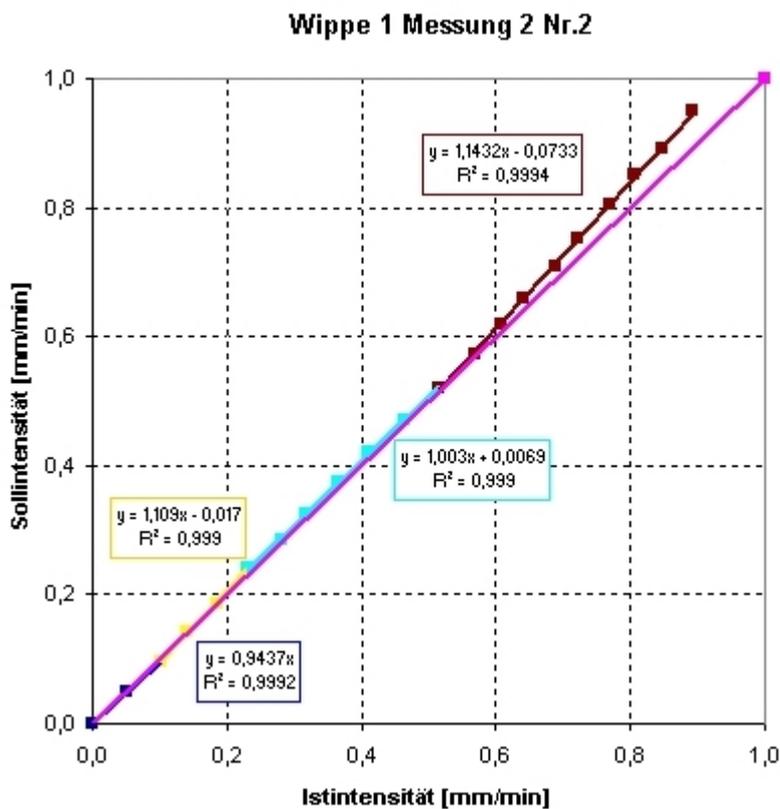
Tabellarische Darstellung der Kalibrierparametern A und B und der Korrelationskoeffizienten der Linearen Regressionsgeraden der Wippe 2 Messung 1

<b>WIPPE 2</b>		Schlauchquetschpumpe Messung 2		
		<b>Lineare Korrektur 0-7mm/min Nr.1</b>		
Intensität i [mm/min]		A	B	R <sup>2</sup>
von	bis			
0,000000	0,843380	1,1013	0,0000	0,9985
0,843380	1,083620	0,7014	0,3580	1,0000
1,083620	1,421970	1,4597	-0,4637	1,0000
1,421970	3,005010	1,0179	0,1449	0,9999
3,005010	3,343050	1,6015	-1,6003	1,0000
3,343050	3,543050	2,6913	-5,2436	1,0000
3,543050	4,704860	1,5173	-1,1121	0,9976
		<b>Lineare Korrektur 0-1mm/min Nr.2</b>		
0,000000	0,043970	1,1252	0,0000	1,0000
0,043970	0,096720	0,8868	0,0105	1,0000
0,096720	0,221000	1,1607	-0,0150	0,9997
0,221000	0,389850	1,0698	0,0042	0,9991
0,389850	0,447240	0,8371	0,0961	1,0000
0,447240	0,490930	1,1596	-0,0481	1,0000
0,490930	0,843380	1,1926	-0,0593	0,9983

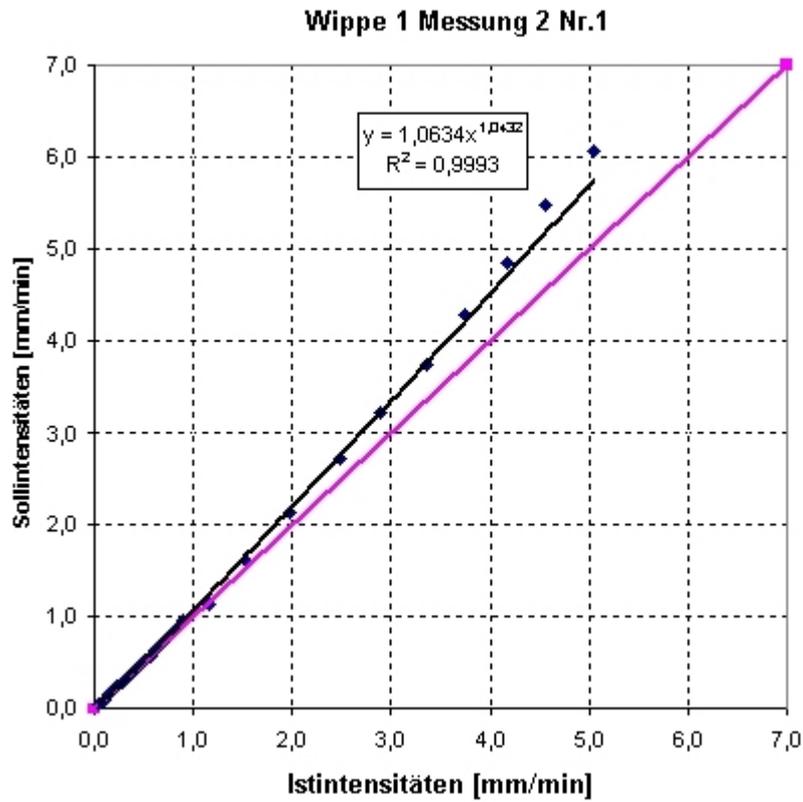
Tabellarische Darstellung der Kalibrierparametern A und B und der Korrelationskoeffizienten der Linearen Regressionsgeraden der Wippe 2 Messung 1



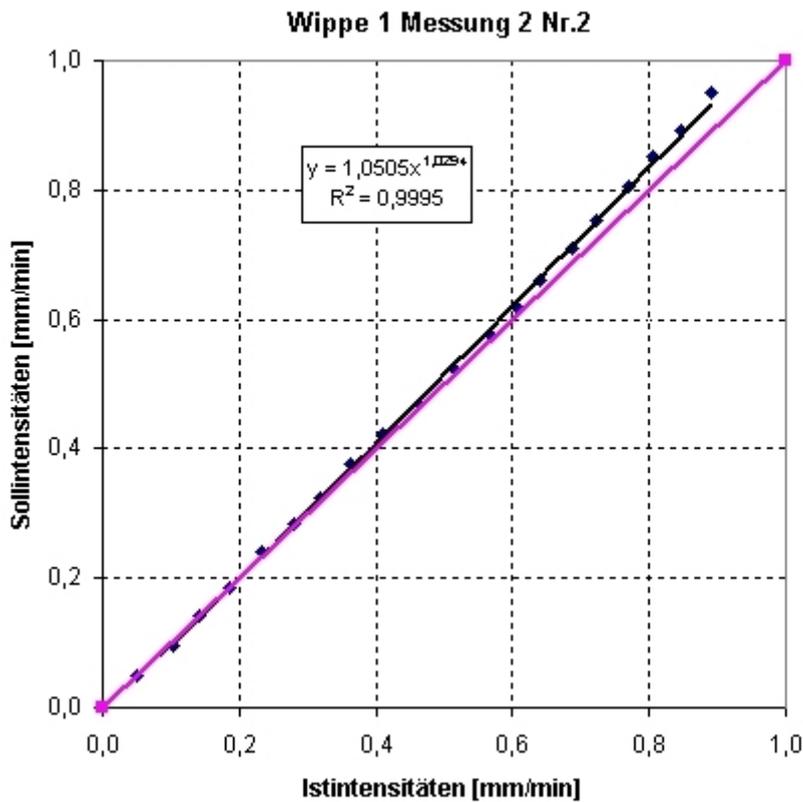
Lineare Regressionsgerade für den Intensitätsbereich zwischen 0-7 mm/min



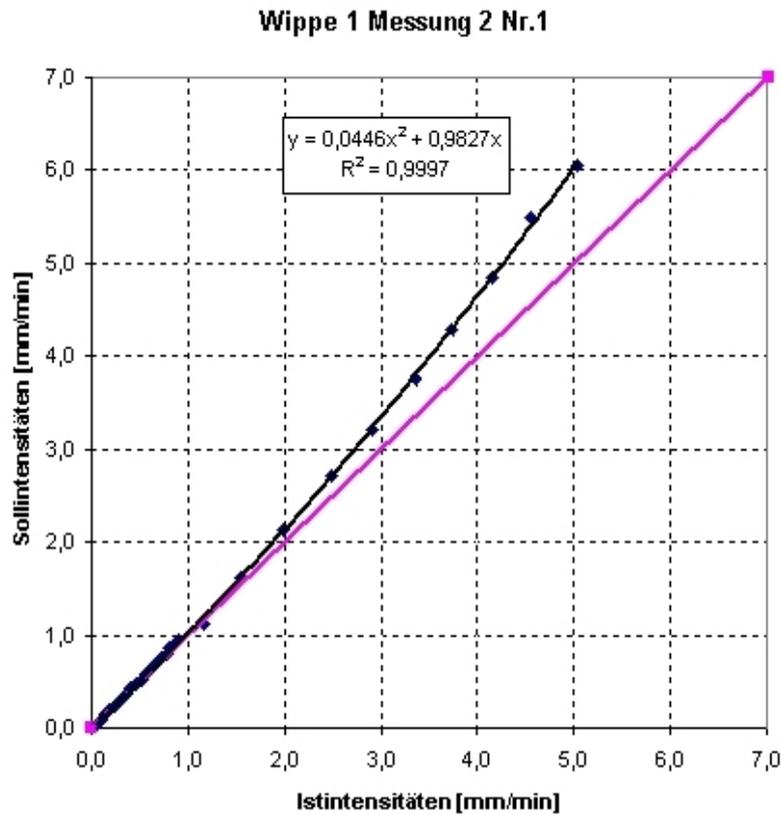
Lineare Regressionsgerade für den Intensitätsbereich zwischen 0-1 mm/min



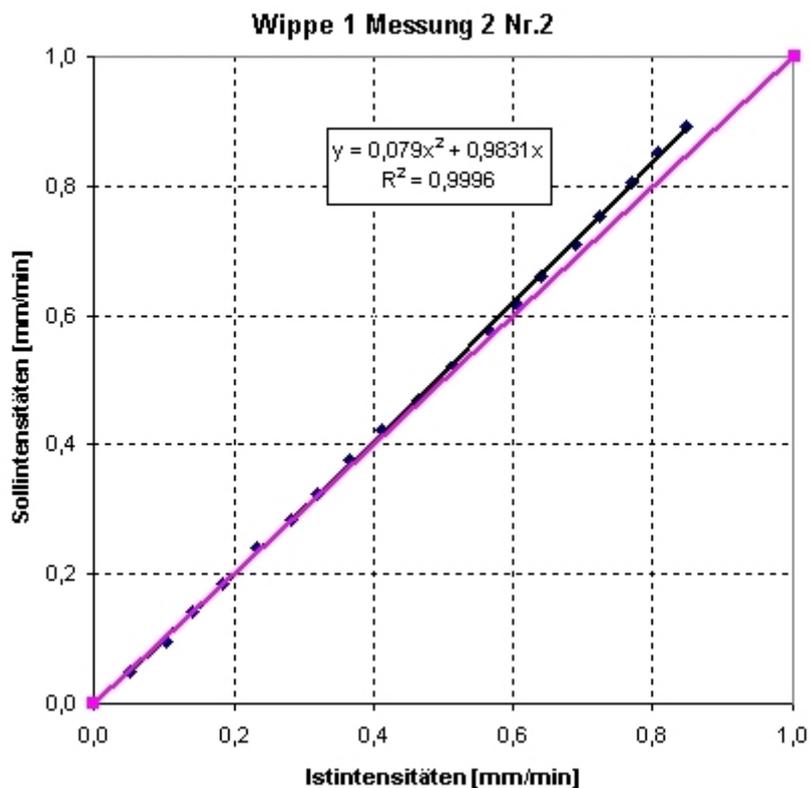
Potenzielle Korrektur für den Intensitätsbereich zwischen 0-7 mm/min



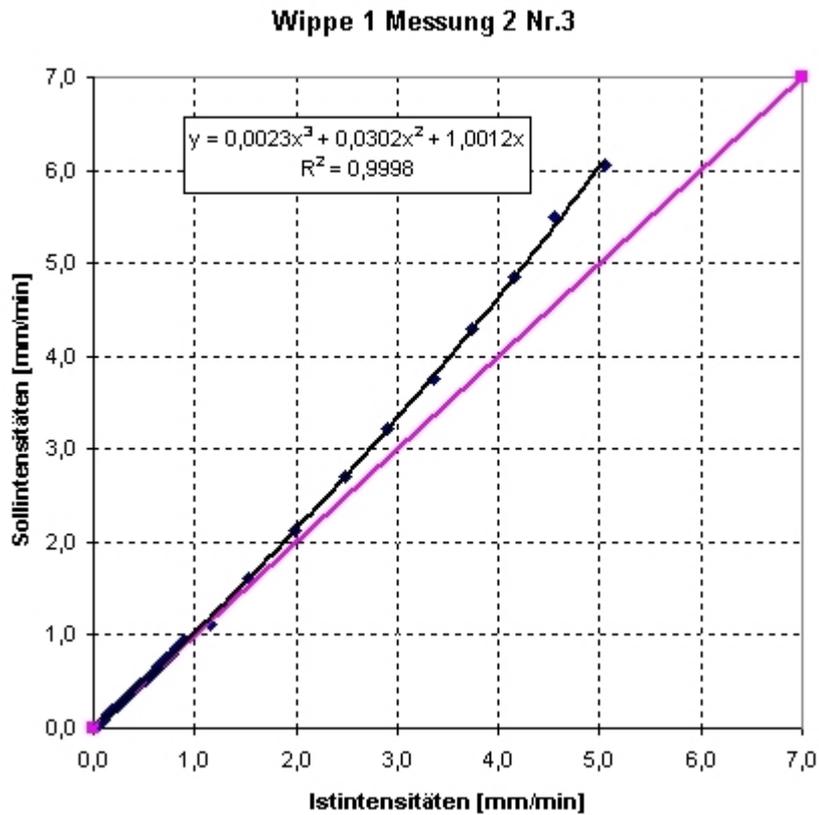
Potenzielle Korrektur für den Bereich zwischen 0-1 mm/min



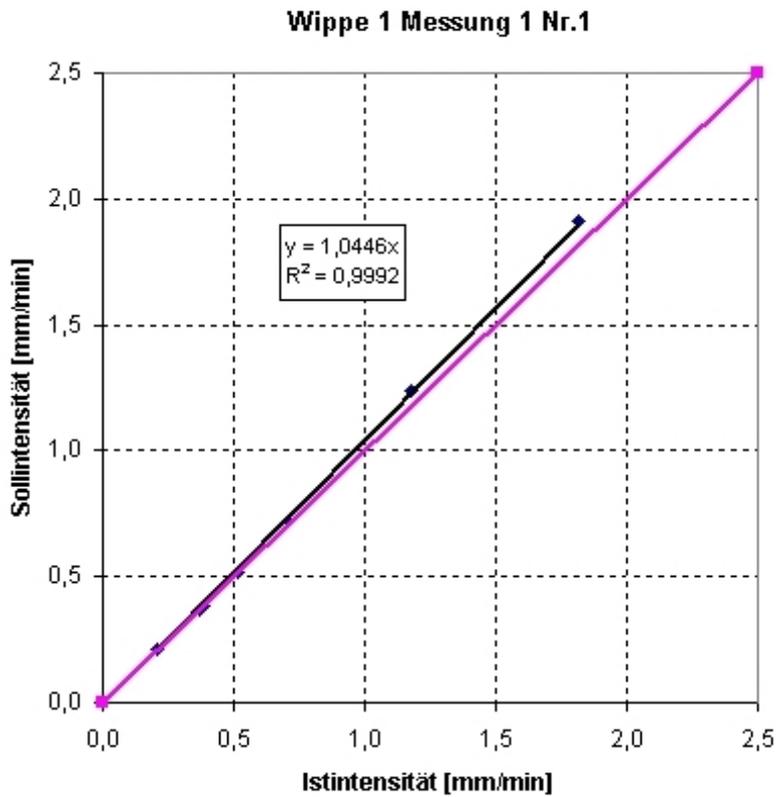
Polynomische Korrektur 2. Grades für den Intensitätsbereich zwischen 0-7 mm/min



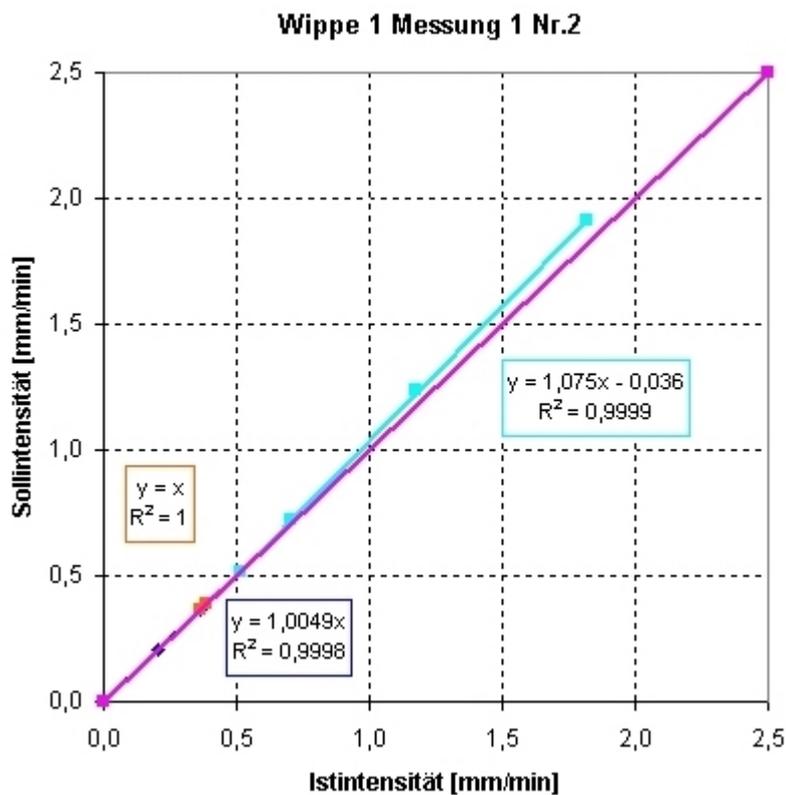
Polynomische Korrektur 2. Grades für den Intensitätsbereich zwischen 0-1 mm/min



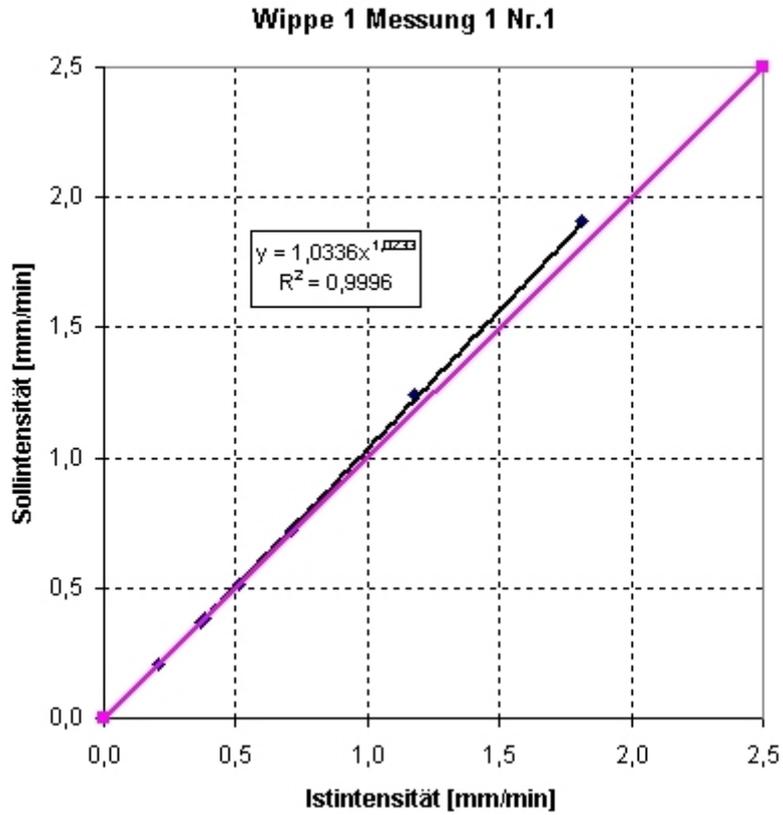
Polynomische Korrektur 3. Grades für den Intensitätsbereich zwischen 0-7 mm/min



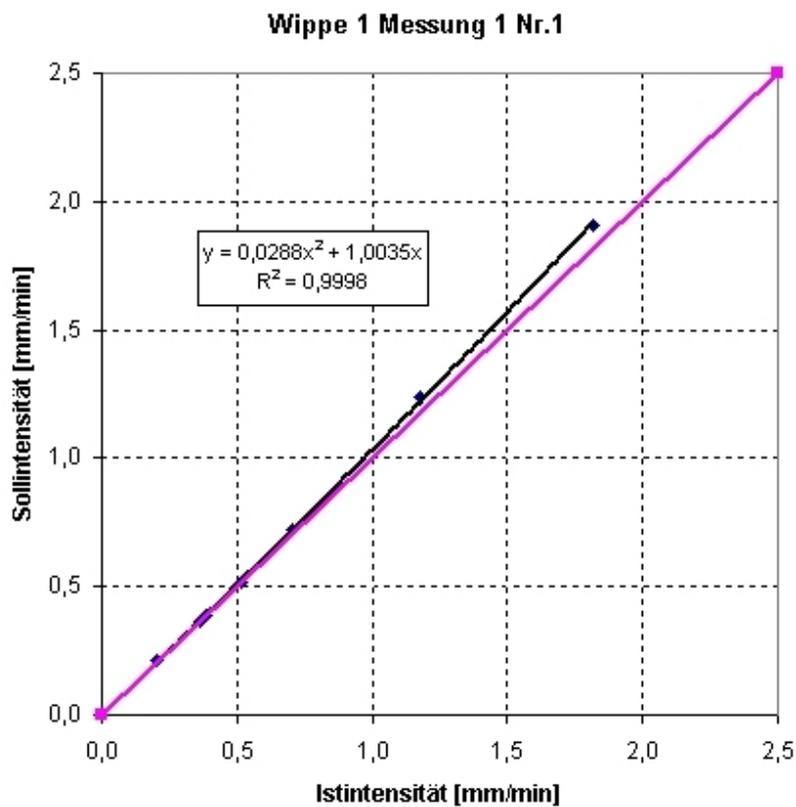
Lineare Regressionsgerade für den gesamten Bereich



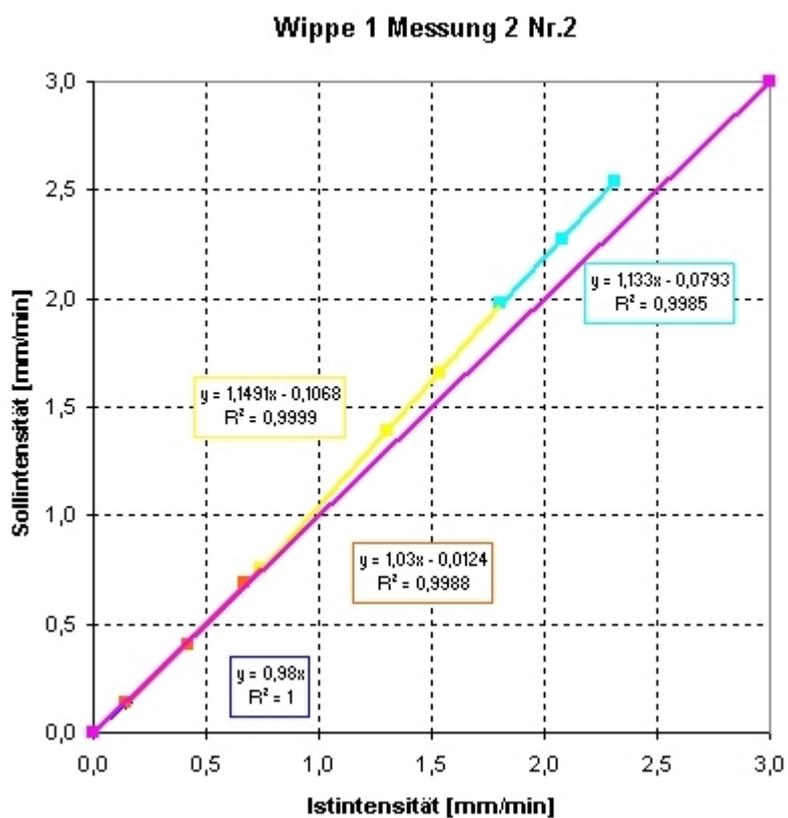
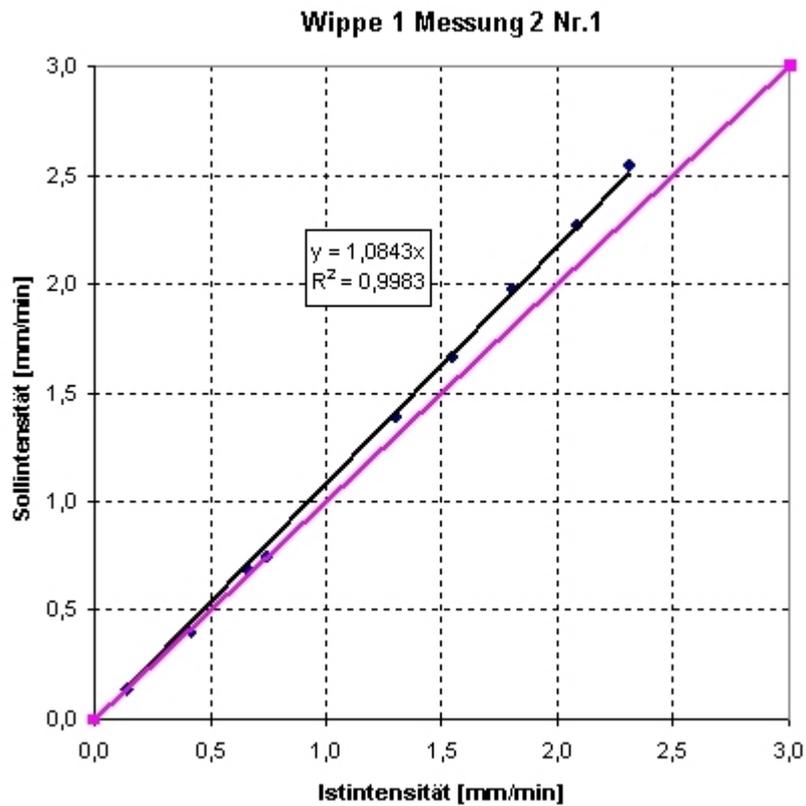
Lineare Regressionsgerade für den gesamten Bereich

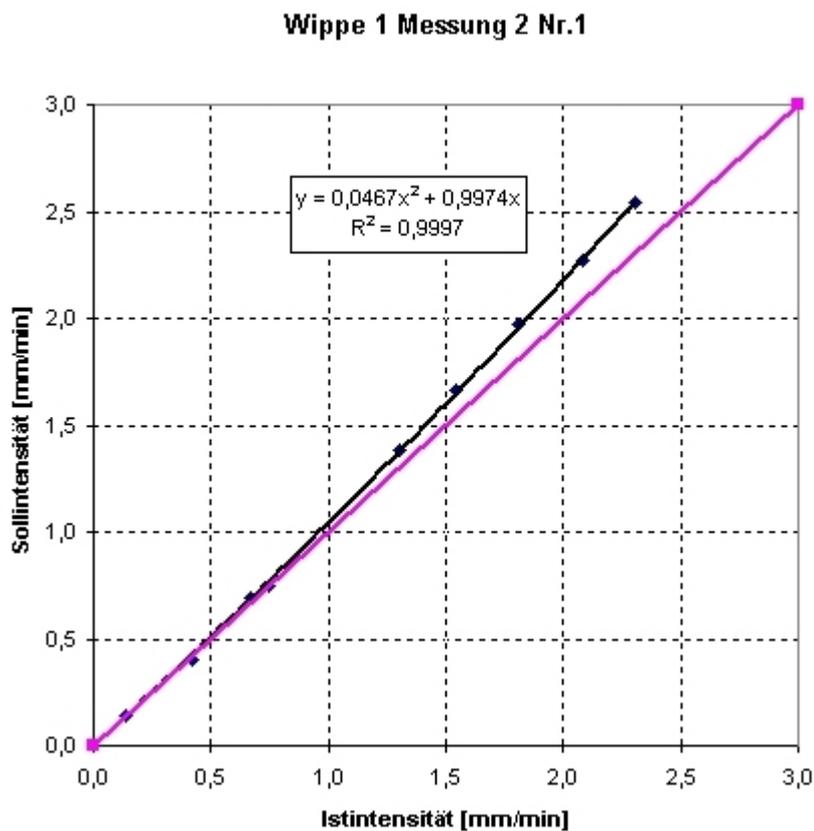
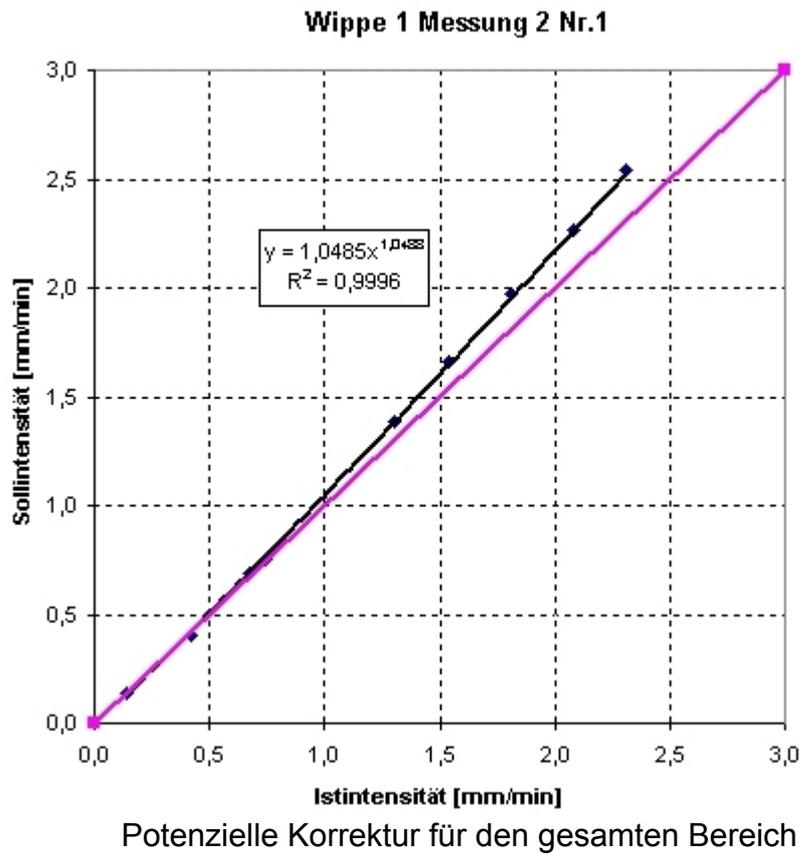


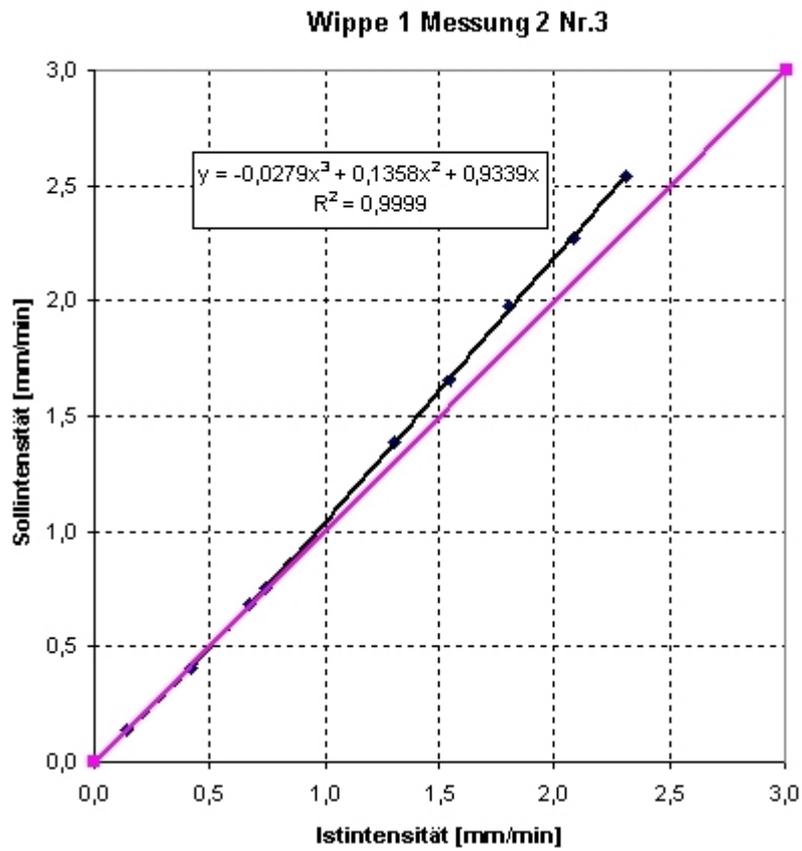
Potenzielle Korrektur für den gesamten Bereich



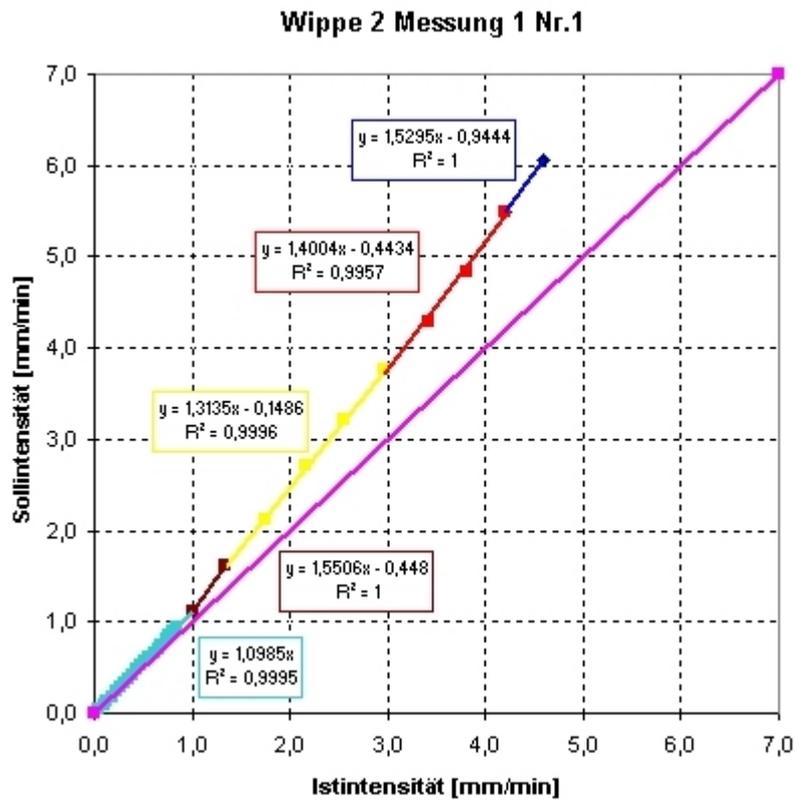
Polynomische Korrektur 2. Grades für den gesamten Bereich



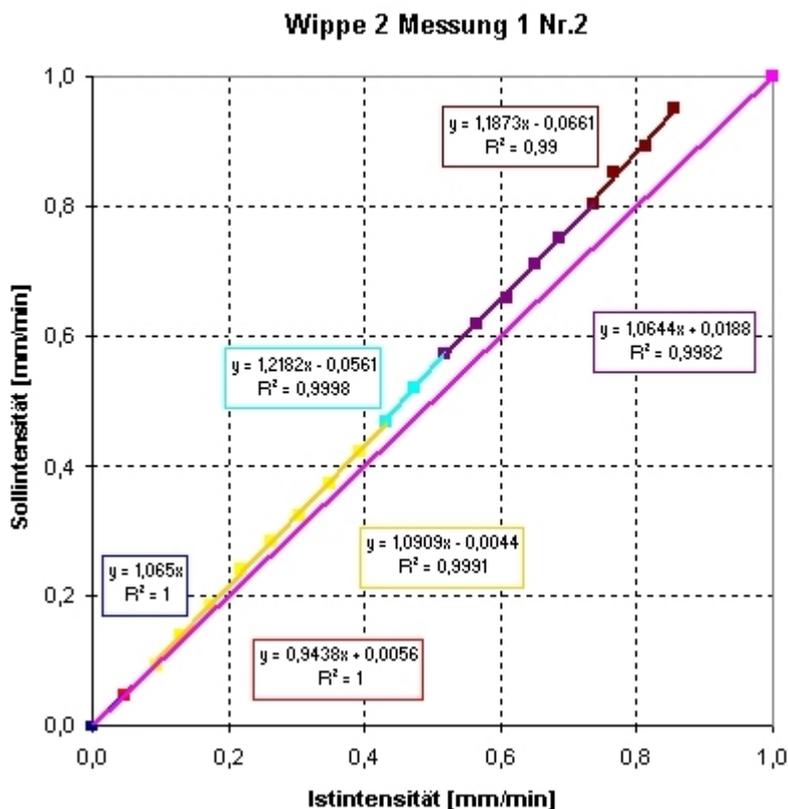




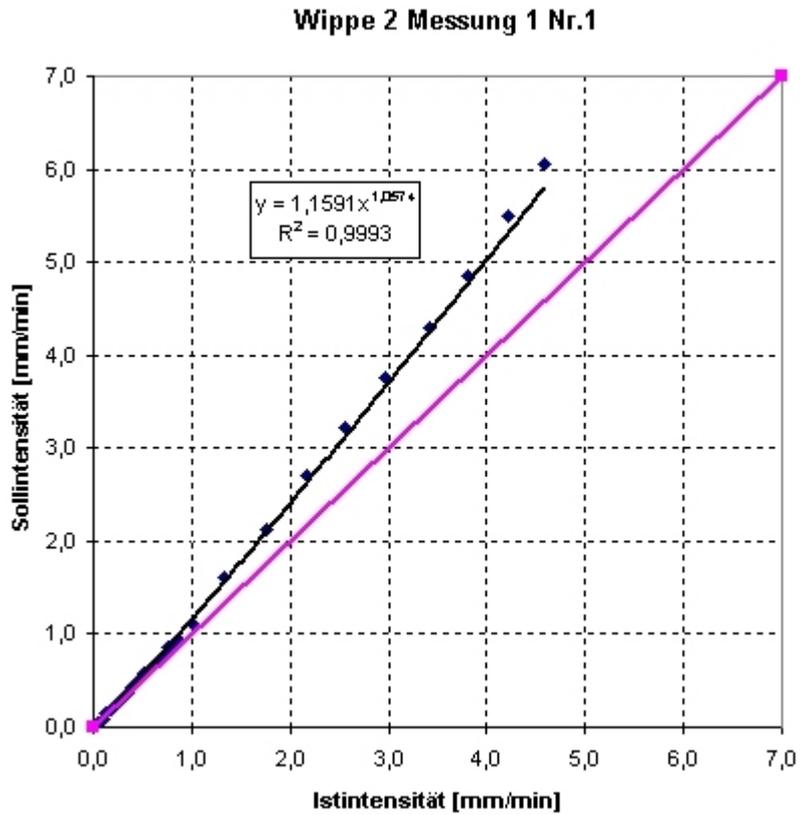
Polynomische Korrektur 3. Grades für den gesamten



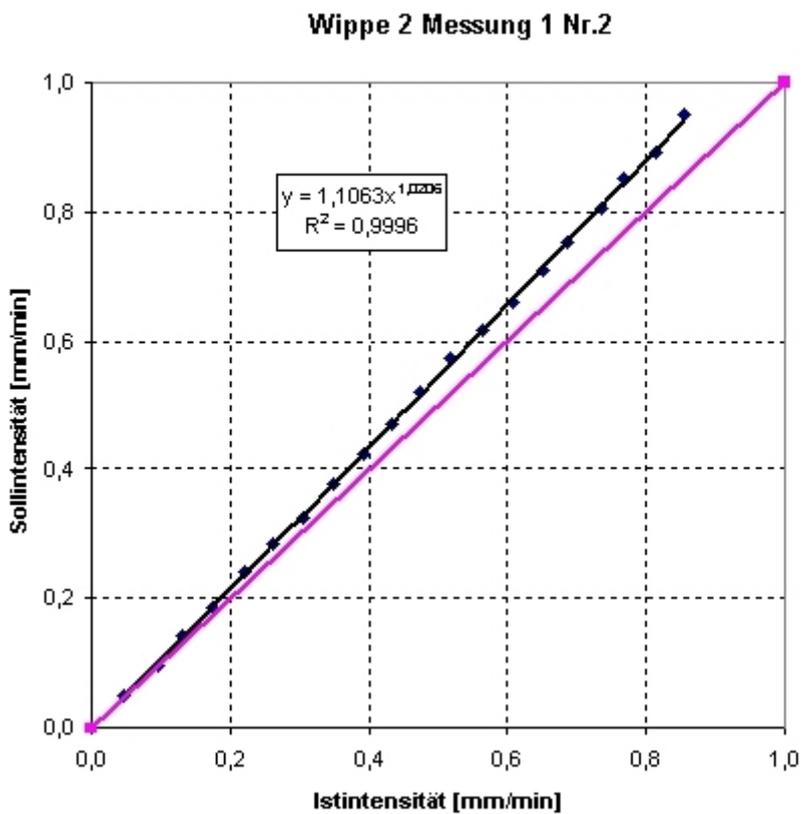
Lineare Regressionsgerade für den Intensitätsbereich zwischen 0-7 mm/min



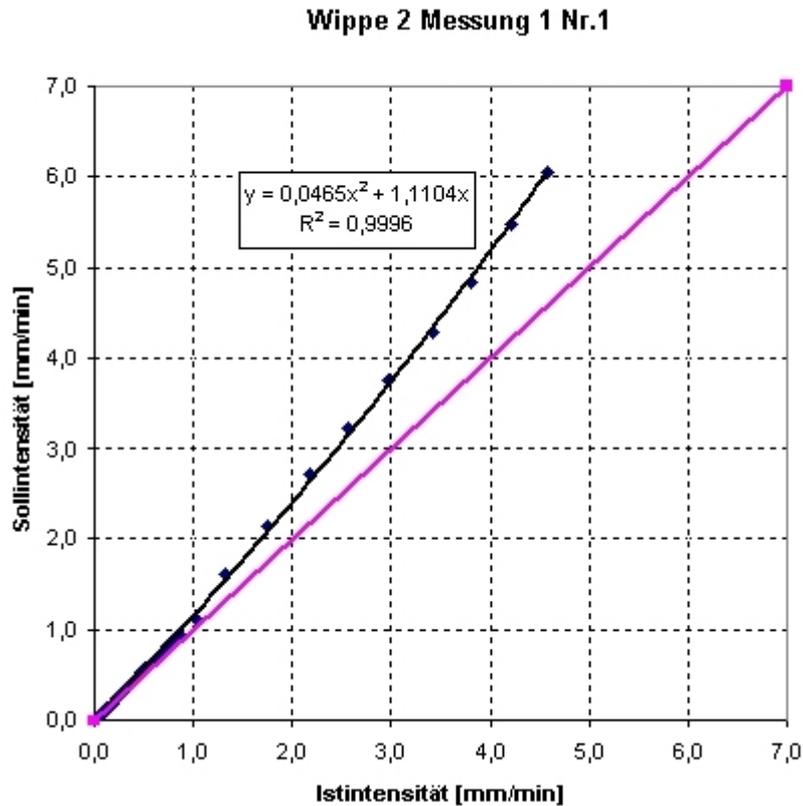
Lineare Regressionsgerade für den Intensitätsbereich zwischen 0-1 mm/min



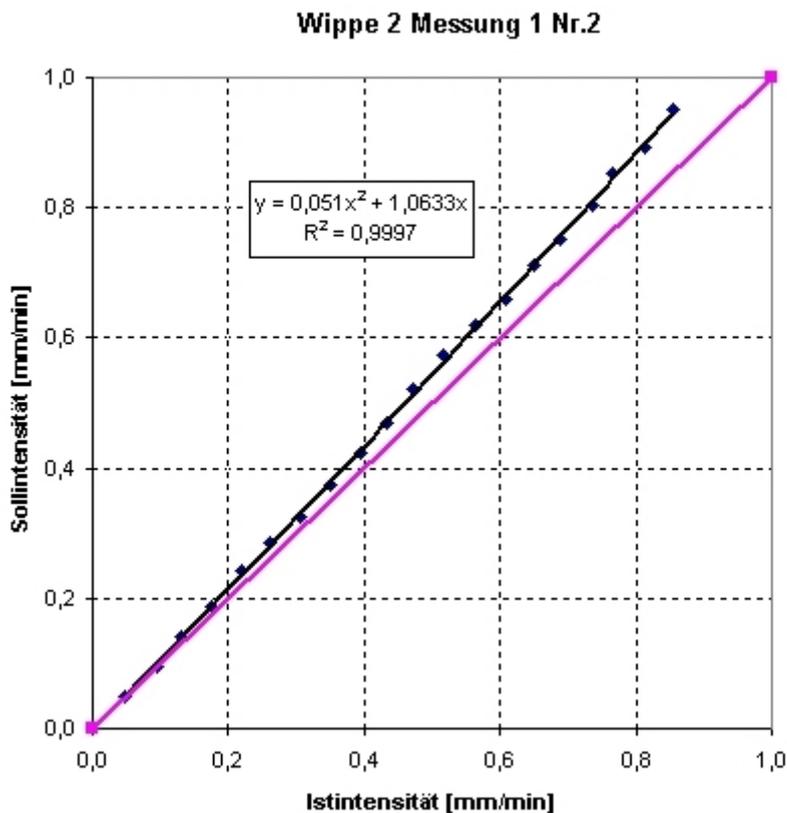
Potenzielle Korrektur für den Intensitätsbereich zwischen 0-7 mm/min



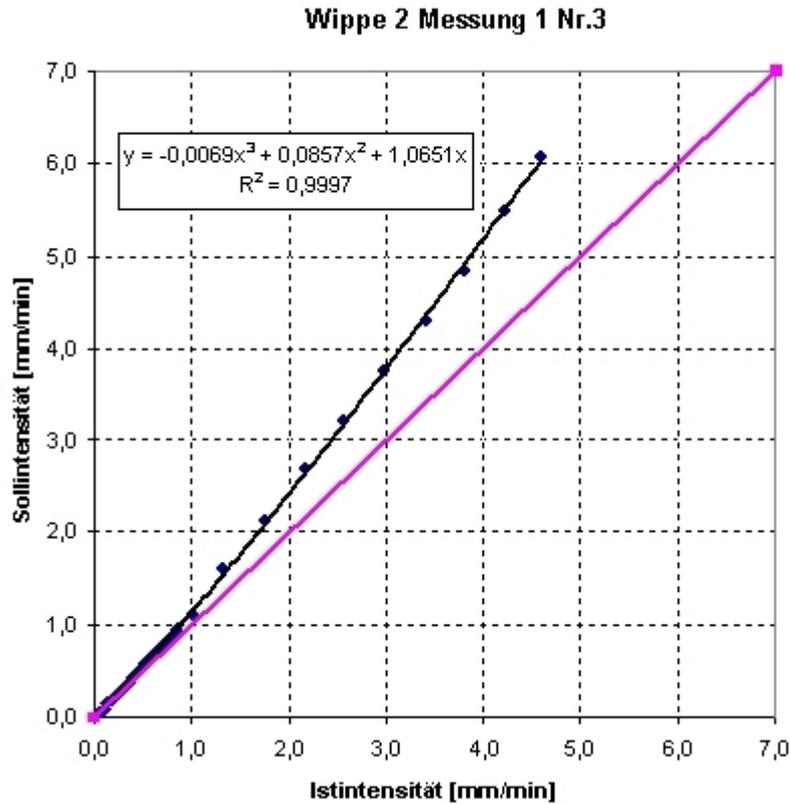
Potenzielle Korrektur für den Intensitätsbereich zwischen 0-1 mm/min



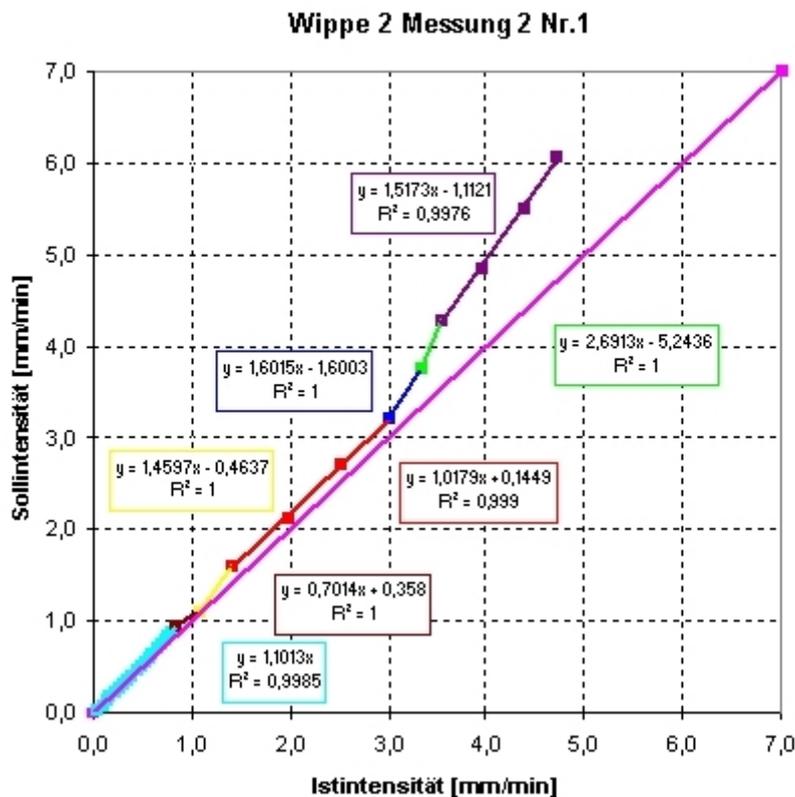
Polynomische Korrektur 2. Grades für den Intensitätsbereich zwischen 0-7 mm/min



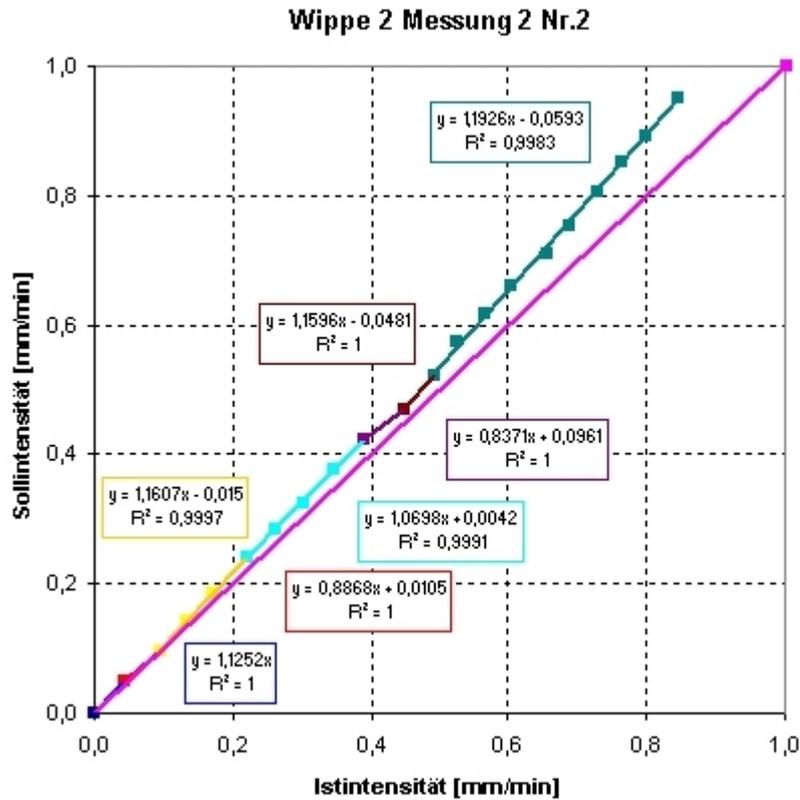
Polynomische Korrektur 2. Grades für den Intensitätsbereich zwischen 0-1 mm/min



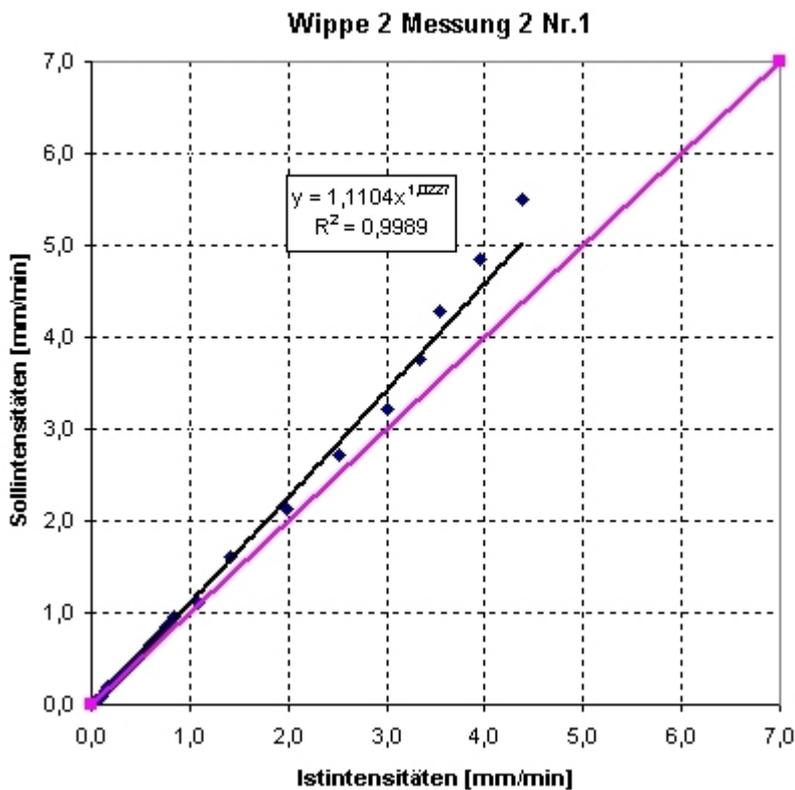
Polynomische Korrektur 3. Grades für den Intensitätsbereich zwischen 0-7 mm/min



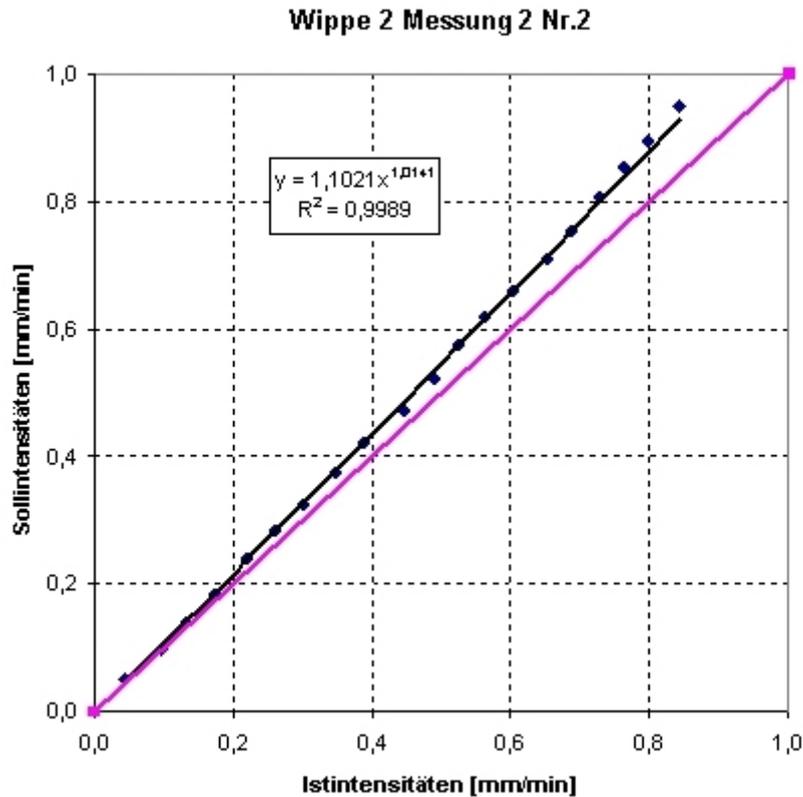
Lineare Regressionsgerade für den Intensitätsbereich zwischen 0-7 mm/min



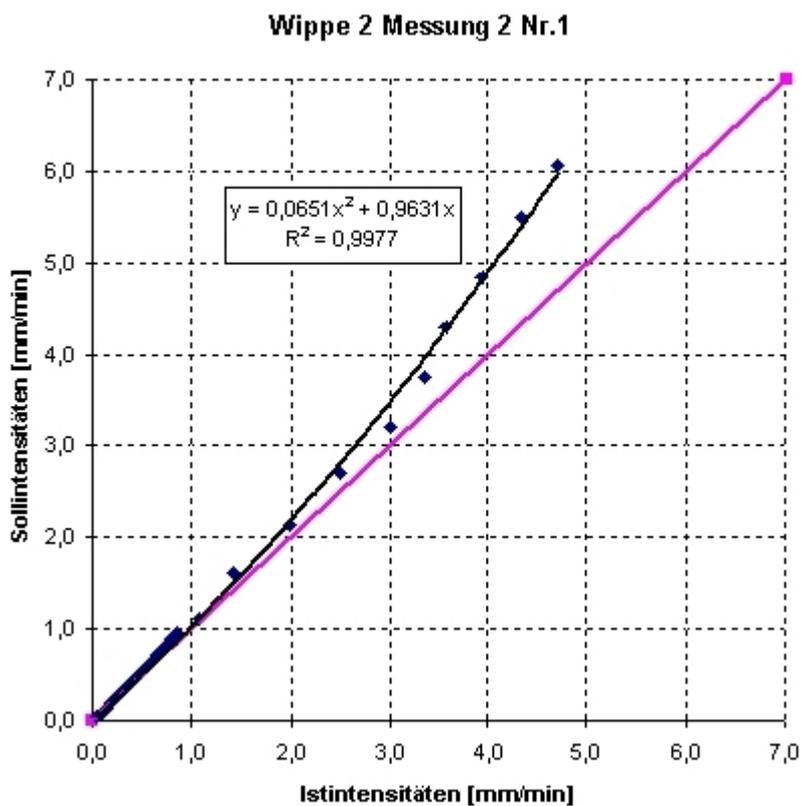
Lineare Regressionsgerade für den Intensitätsbereich zwischen 0-1 mm/min



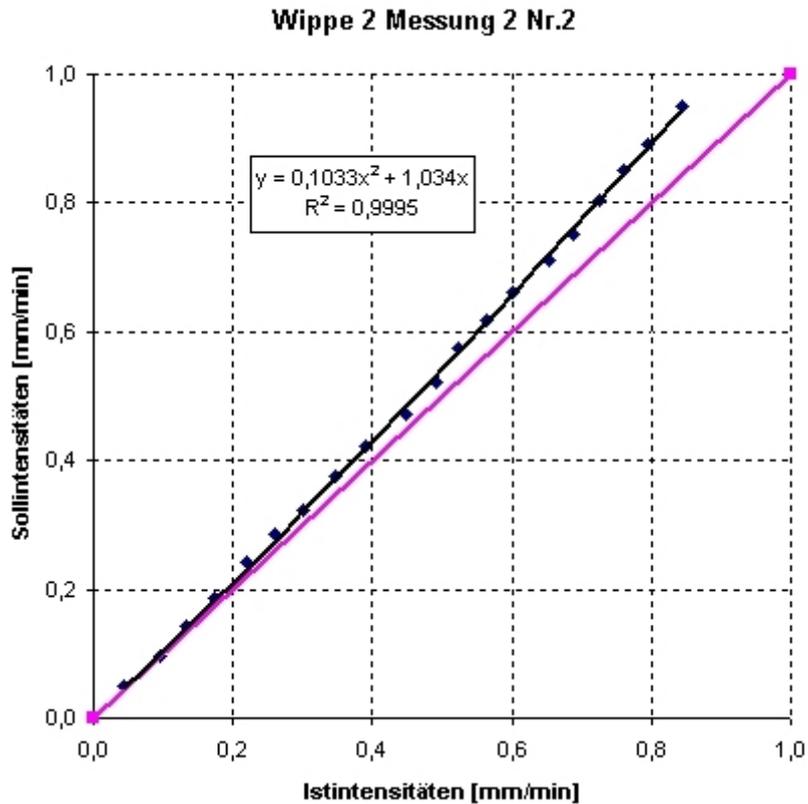
Potenzielle Korrektur für den Intensitätsbereich zwischen 0-7 mm/min



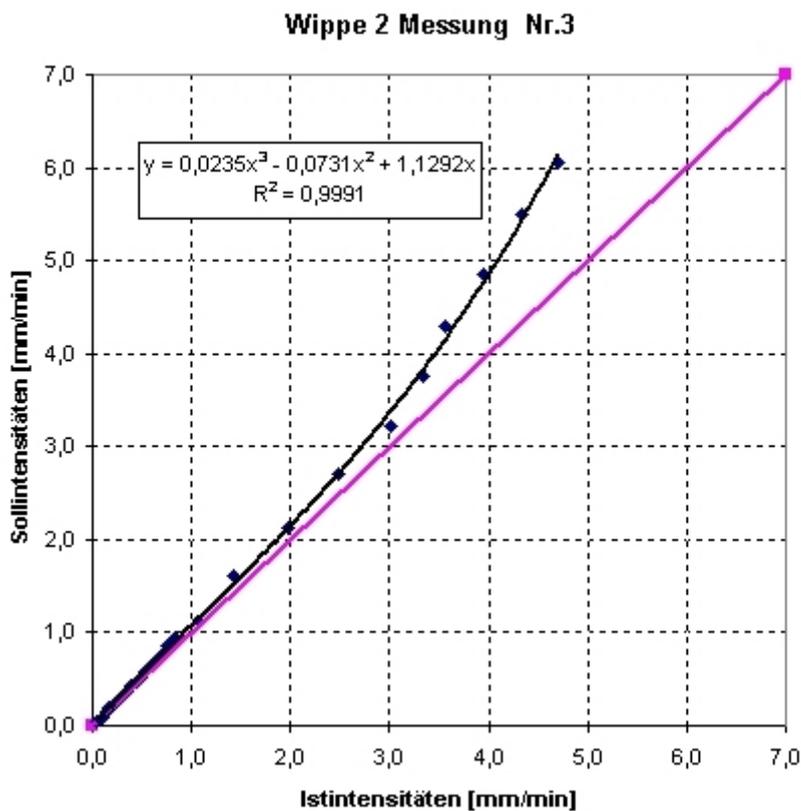
Potenzielle Korrektur für den Intensitätsbereich zwischen 0-1 mm/min



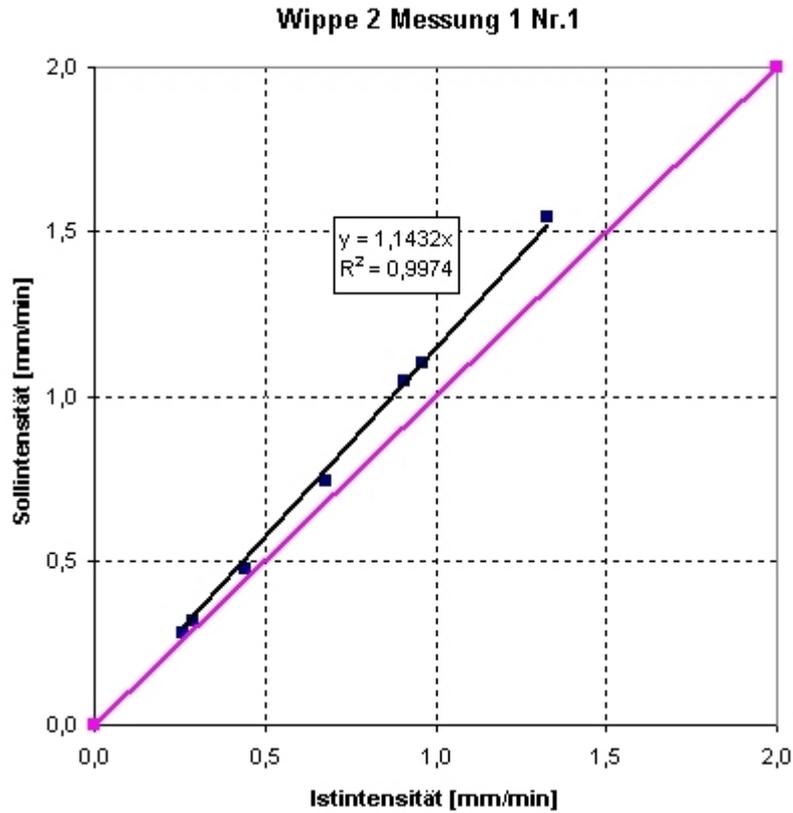
Polynomische Korrektur 2. Grades für den Intensitätsbereich zwischen 0-7 mm/min



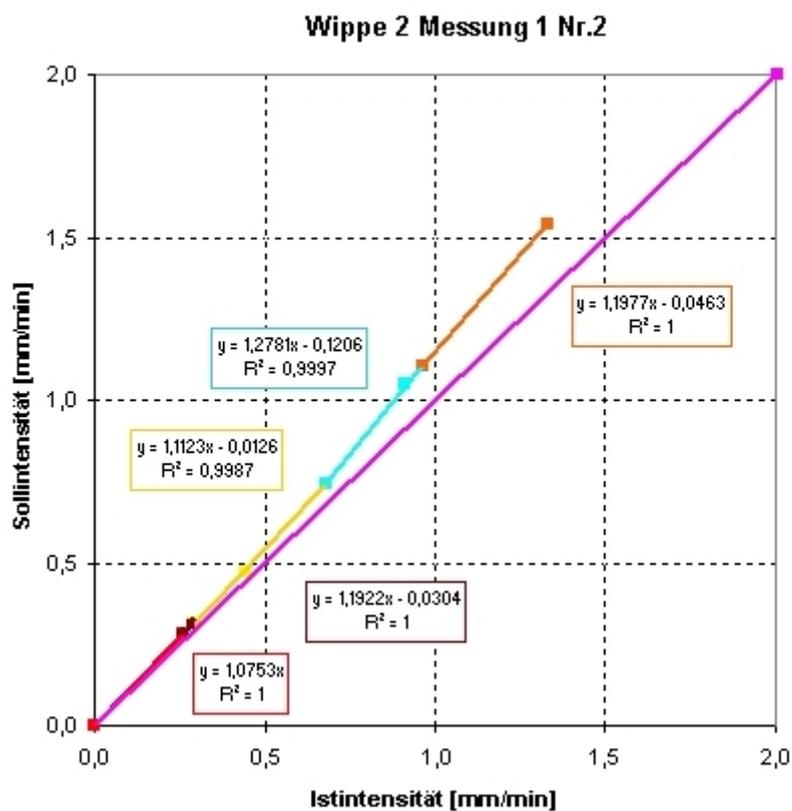
Polynomische Korrektur 2. Grades für den Intensitätsbereich zwischen 0-1 mm/min



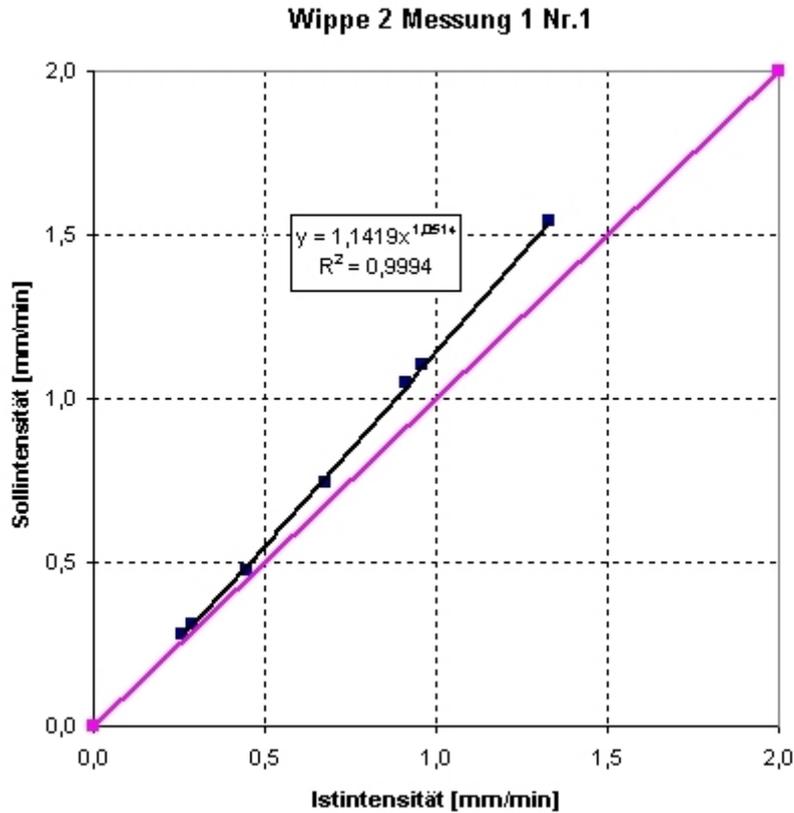
Polynomische Korrektur 3. Grades für den Intensitätsbereich zwischen 0-7 mm/min



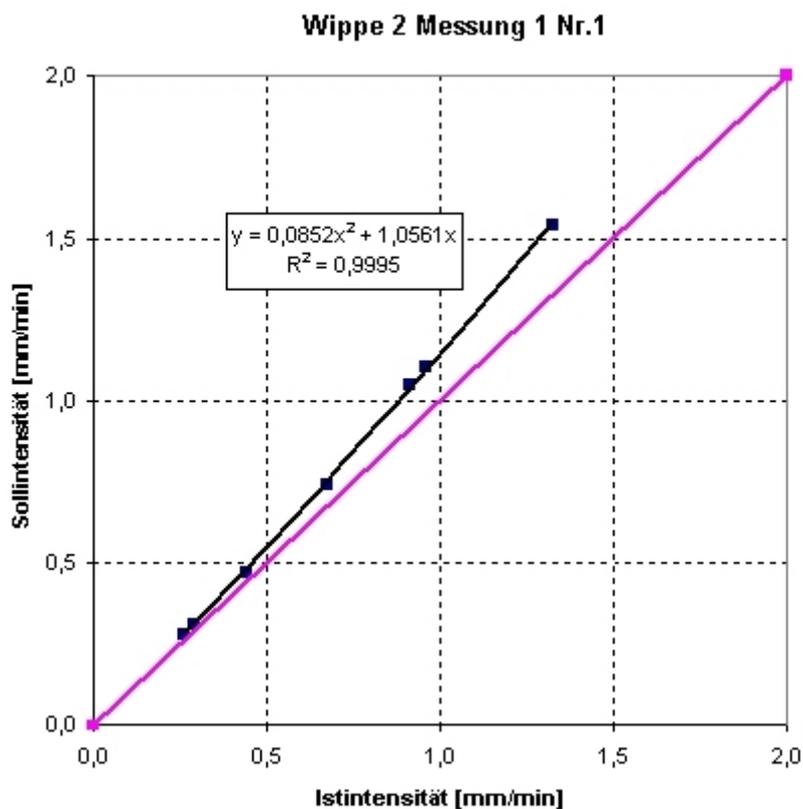
Lineare Regressionsgerade für den gesamten Bereich



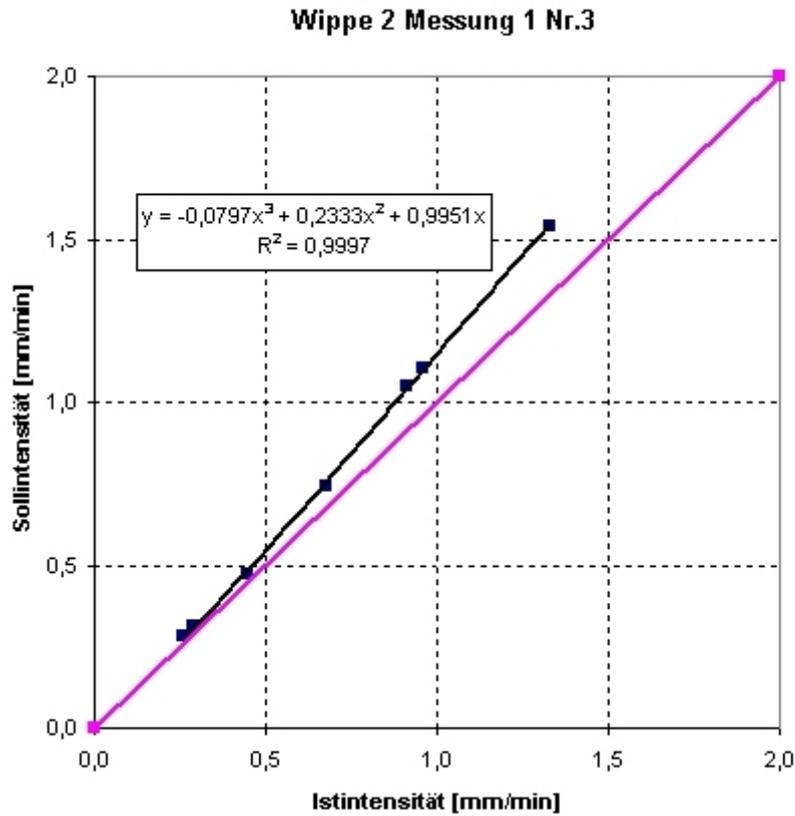
Lineare Regressionsgerade für den gesamten Bereich



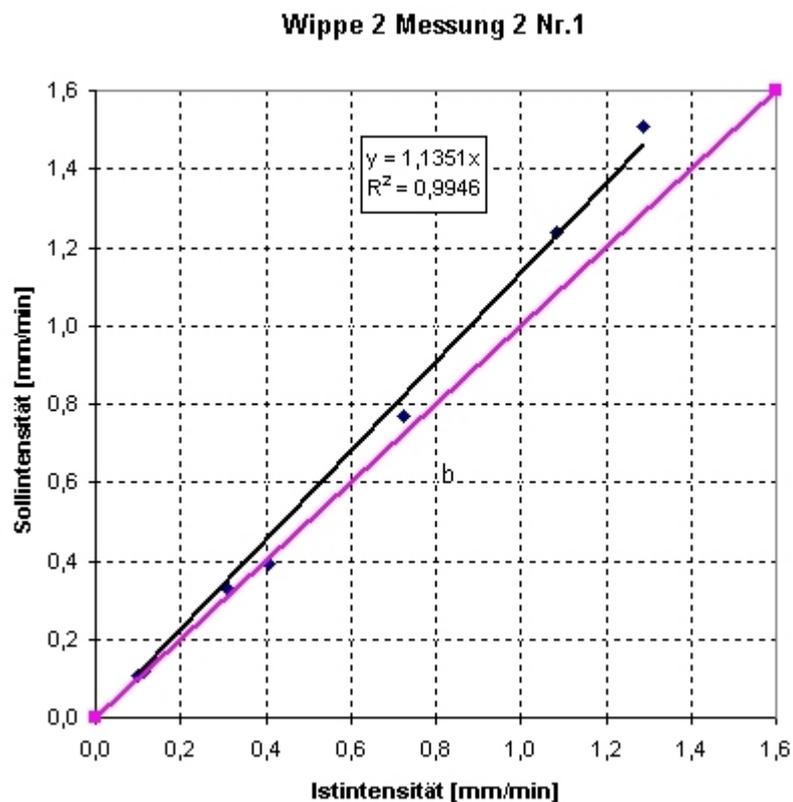
Potenzielle Korrektur für den gesamten Bereich



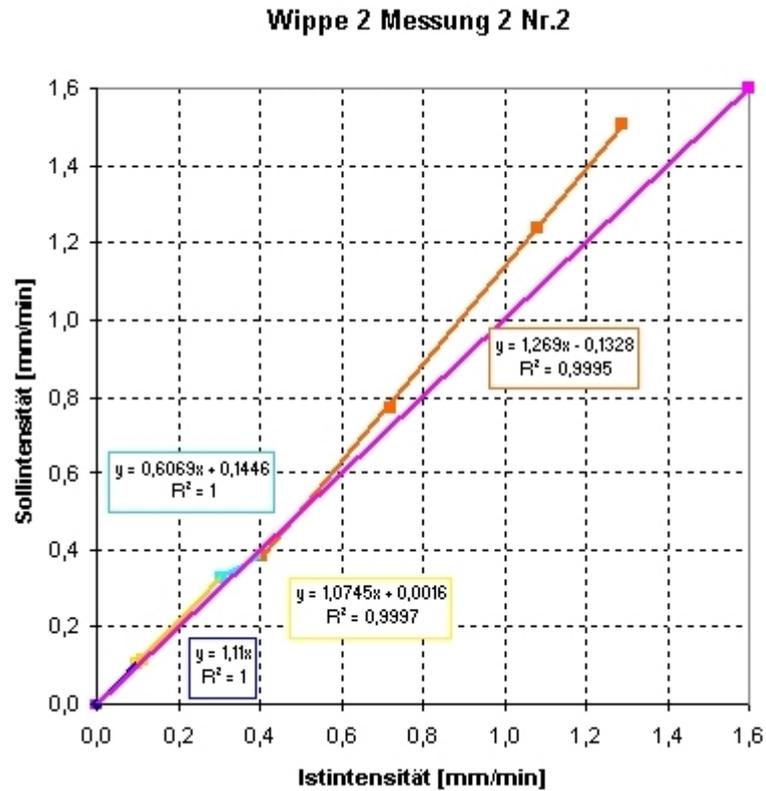
Polynomische Korrektur 2. Grades für den gesamten Bereich



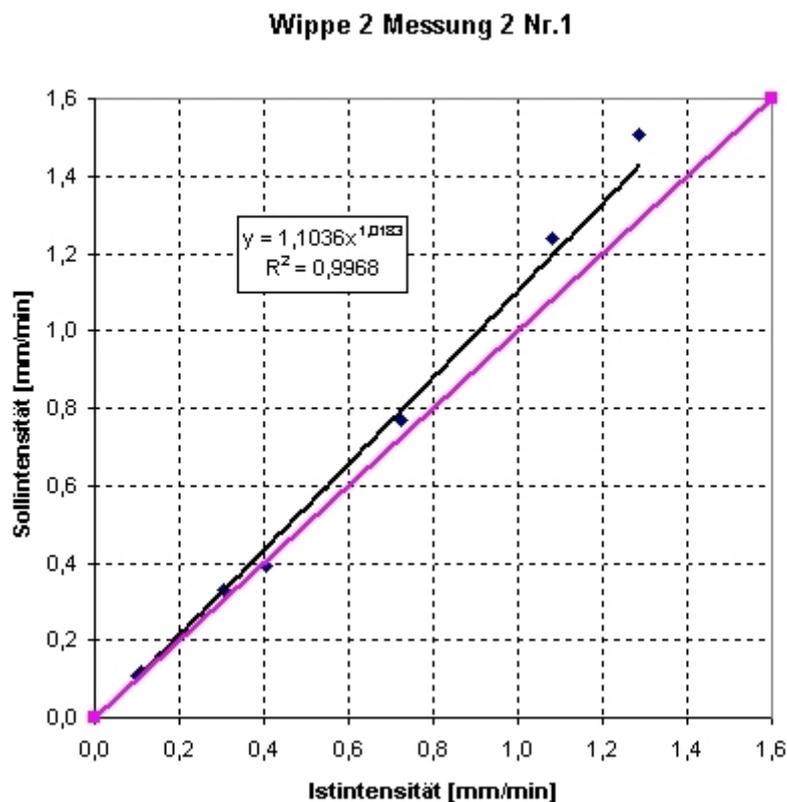
Polynomische Korrektur 3. Grades für den gesamten Bereich



Lineare Regressionsgerade für den gesamten Bereich

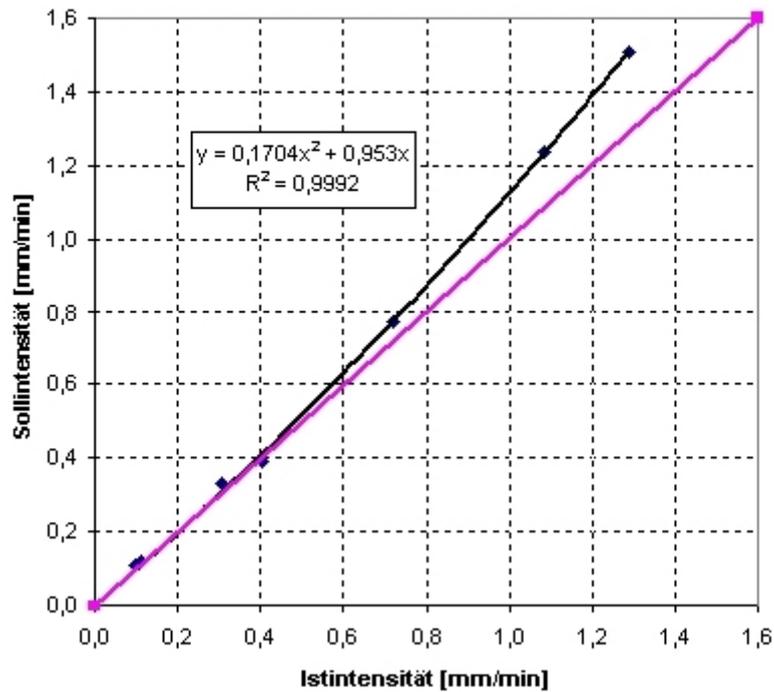


Lineare Regressionsgerade für den gesamten Bereich



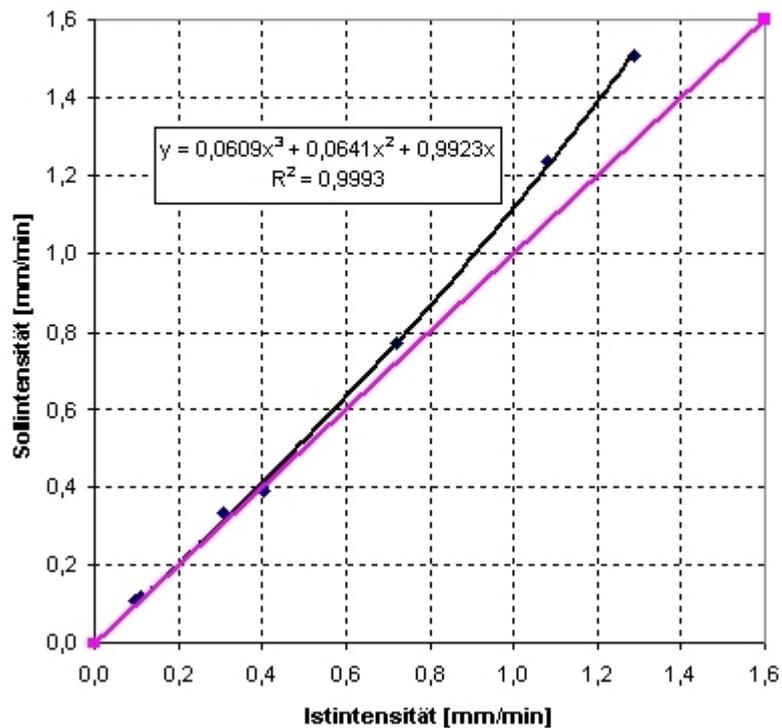
Potenzielle Korrektur für den gesamten Bereich

Wippe 2 Messung 2 Nr.1

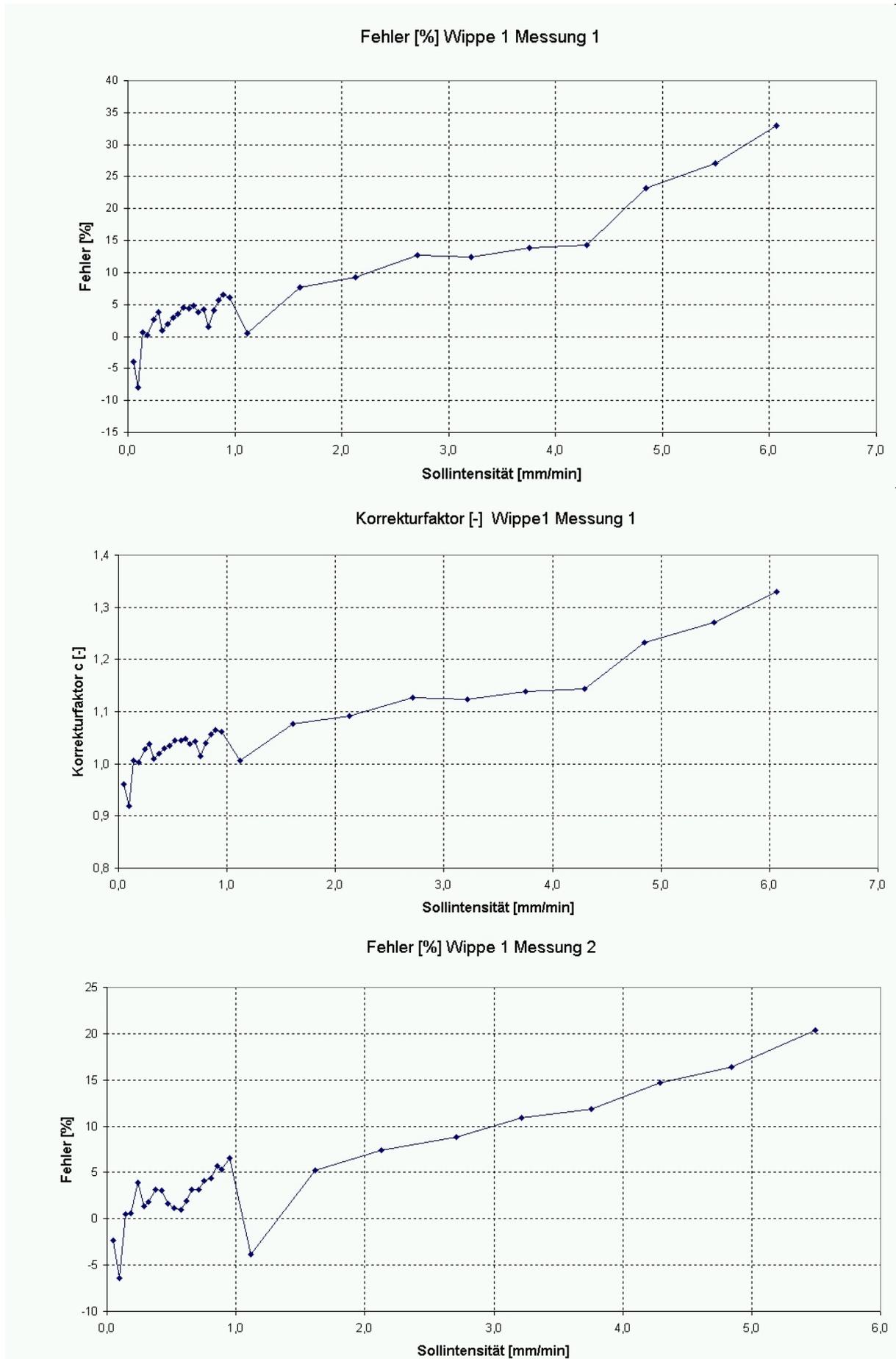


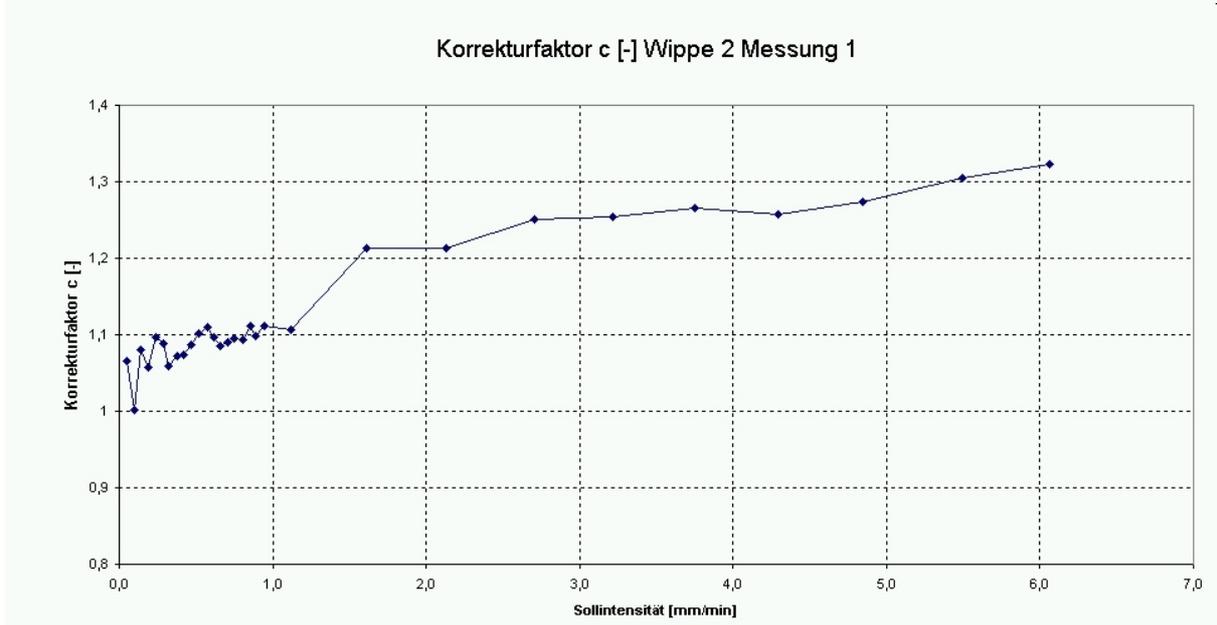
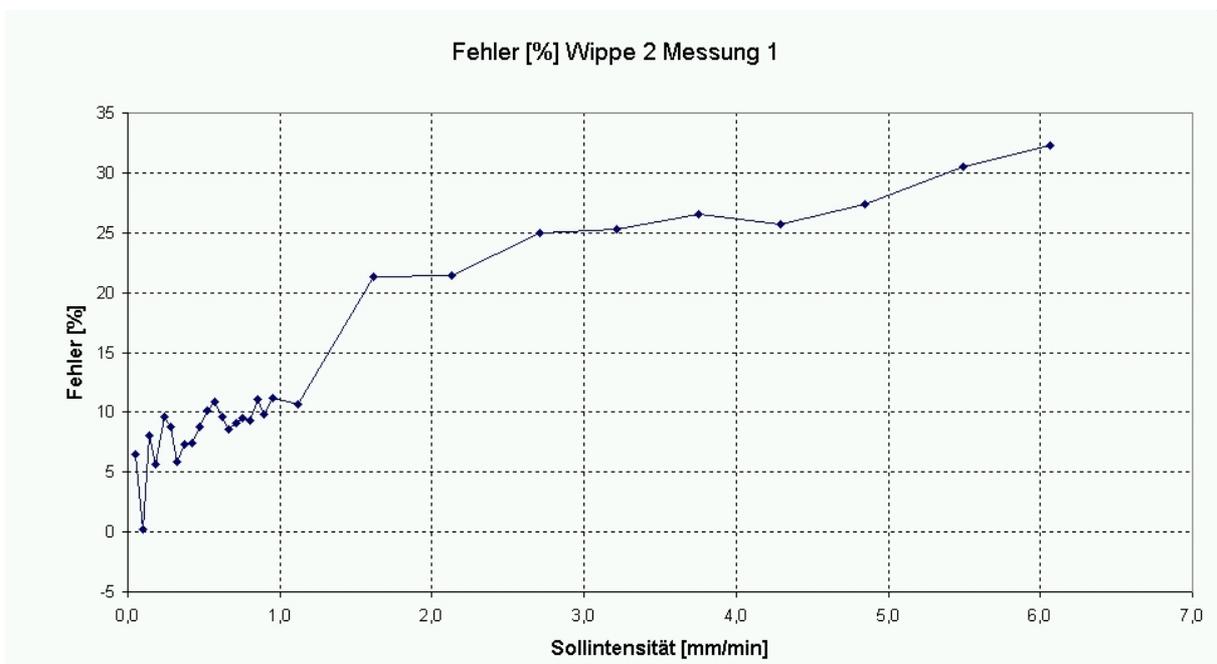
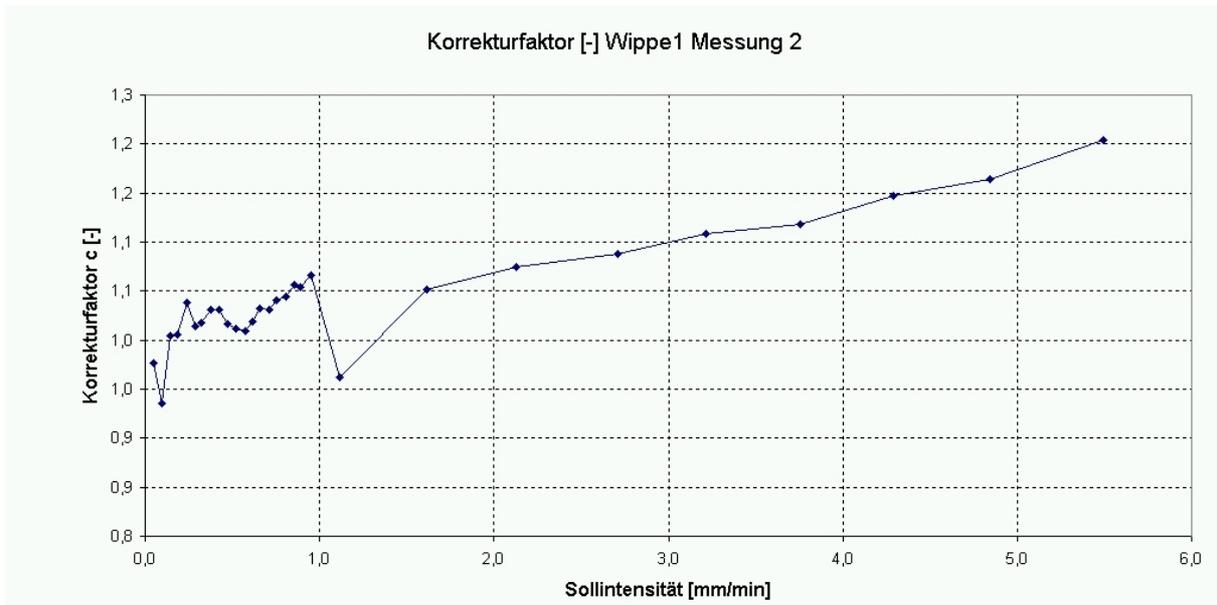
Polynomische Korrektur 2. Grades für den gesamten Bereich

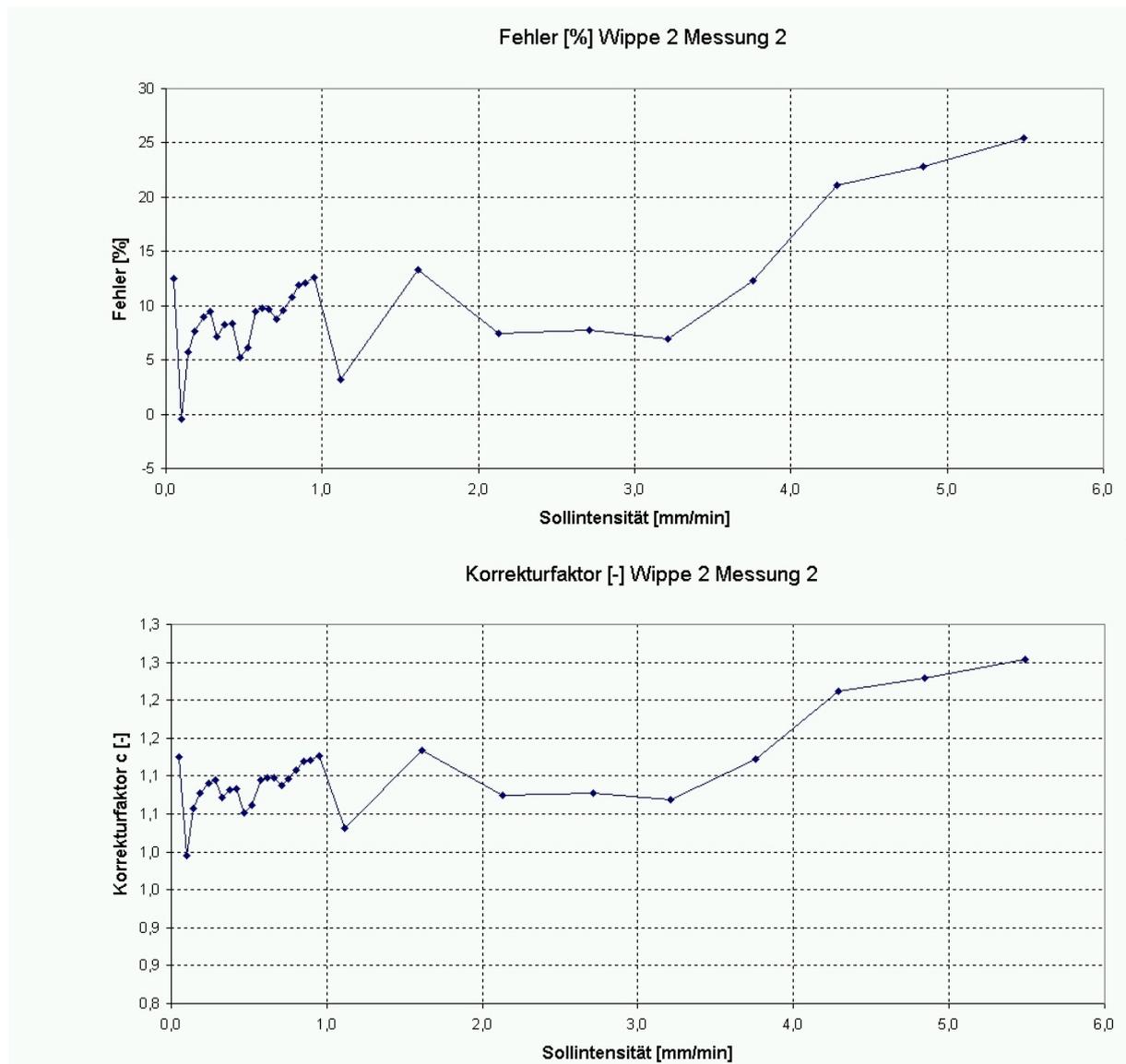
Wippe 2 Messung 2 Nr.3



Polynomische Korrektur 3. Grades für den gesamten Bereich







## 9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1 Schema einer Warmfront (Disse, 2003).....	13
Abb. 2-2 Schema einer Kaltfront (Disse,2003) .....	14
Abb. 2-3 Schema einer Okklusionsfront (Disse, 2003) .....	14
Abb. 2-4 Schema eines Gewitter (Disse, 2003).....	15
Abb. 2-5 Niederschlagsformen (Disse, 2003).....	15
Abb. 2-6 Totalisator- Niederschlagssammler (Dracos 1980).....	21
Abb. 2-7 Selbstschreibender Niederschlagsmesser – Ombrograph.....	22
Abb. 2-8 Messzylinder .....	23
Abb. 2-11 24h Niederschlag vom 12.07.1995, 07.30 MESZ vom Hohenpeißenberg (Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft).....	26
Abb. 3-1 Niederschlagswippen Detail (MEDAS).....	31
Abb. 3-2 Niederschlagswippenunterbau (MEDAS).....	32
Abb. 3-3 Lageplan der beiden Wippen bei der Bertha von Suttner Friedensbrücke .	34
Abb. 4-1Versuchsanordnung für die statische Kalibrierung (Cambell, 2000) .....	35
Abb. 4-3 Anordnung für die dynamische Kalibrierung mit konstanter Druckhöhe (Cambell, 2000).....	36
Abb. 4-5 Versuchsanordnung Hable O.(2000).....	38
Abb. 4-6 $\mu$ P- gesteuerten Schlauchpumpe der Firma ISMATEC.....	39
Abb. 4-7 Förderdiagramm für Schlauchtyp B.....	42
Abb. 4-8 Förderdiagramm Schlauchtyp E.....	42
Abb. 4-9 Kalibriergerät.....	44
Abb. 5-1 Lineare Regressionsgerade der Wippe 1 mit einer Intensität bis 7 mm/min .....	48
Abb. 5-2 Lineare Regressionsgerade der Wippe 1 mit einer Intensität bis 1 mm/min .....	49
Abb. 5-3 Kalibrierkurve mit potenziellem (links) und polynomischem Funktionsansatz 2. Grades (rechts) für die Kalibrierung mit Schlauch- quetschpumpe für Intensitäten bis 7 mm/min.....	50

Abb. 5-4 Kalibrierkurve mit potenziellem (links) und polynomischem Funktionsansatz 2. Grades (rechts) für die Kalibrierung mit Schlauch-quetschpumpe für Intensitäten bis 1 mm/min.....	51
Abb. 5-5 Kalibrierkurve mit polynomischer Funktion 3. Grades .....	52
Abb. 5-6 Fehlergegenüberstellung des Intensitätsbereiches bis 7 mm/min.....	53
Abb. 5-7 Darstellung der Soll- und Istintensität der Wippe 1 (links, Messung 1 und Messung 2) und der Wippe 2 (rechts, Messung 1 und Messung 2) .....	54
Abb. 5-8 Fehlergegenüberstellung des Intensitätsbereiches bis 1 mm/min.....	54
Abb. 5-9 Graphische Darstellung des korrigierten Gesamtniederschlags .....	56
Abb. 5-10 Graphische Darstellung des korrigierten Regenereignisses vom 22.05.04 .....	57
Abb. 5-11 Graphische Darstellung des korrigierten Regenereignisses vom 28.05.04 .....	58
Abb. 5-12 Graphische Darstellung des Vergleichs der Wippe 1 .....	59
Abb. 5-13 Graphische Darstellung des Vergleichs der Wippe 2 .....	59

## 10 Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1 Ausgabefile der Niederschlagswaage Klusemanngasse.....	25
Tab. 3-1 Ausgabefile vom Meßsystem .....	33
Tab. 4-1 Auszug aus den Messwerten der Wippe 1 zweite Messung .....	37
Tab. 5-1 Sieben Bereiche mit den Kalibrierparametern A und B und dem Korrelationskoeffizienten der Linearen Regressionsgeraden der Wippe 1 .....	48
Tab. 5-2 Acht Bereiche mit den Kalibrierparametern A und B und dem Korrelationskoeffizienten der Linearen Regressionsgeraden der Wippe 1 .....	49
Tab. 5-3 Kalibrierparameter der Wippe 1 .....	50
Tab. 5-4 Tabellarische Darstellung des korrigierten Gesamtniederschlags.....	56
Tab. 5-5 Tabellarische Darstellung des korrigierten Regenereignisses vom 22.05.04 .....	57
Tab. 5-6 Tabellarische Darstellung des korrigierten Regenereignisses vom 28.05.04 .....	58