Gruppe: A1
Karsten Klein (Protokollant)
Sky Lemke

Künzell, den

Die Oberflächenspannung

Theoretische Grundlagen

Kohäsionskraft
Die Kohäsionskraft, ist diejenige Kraft, die zwischen den Molekülen der Flüssigkeit auftritt. Jedes Molekül übt auf die Umliegenden ein Kraft aus, da die Kräfte der Moleküle innerhalb der Flüssigkeit untereinander entgegengesetzt ist, ist die Summe der Kräfte gleich Null.

Adhäsionskraft
Die Adhäsionskraft, ist die Kraft, die zwischen den Molekülen der Flüssigkeit und einer anderen Substanz wirkt.

Was ist Oberflächenspannung?
Wenn man zum Beispiel eine Münze oder eine Nadel oder ähnlichen vorsichtig auf die Wasseroberfläche legt, so kann man beobachten, das diese auf der Wasseroberfläche „schwimmen“. Dies liegt aber nicht am Auftrieb in Flüssigkeiten, denn dann müßten die Gegenstände, nachdem man sie untergetaucht hat, wieder nach oben kommen. Die Ursache für dieses Phänomen ist die Oberflächenspannung. In einer Flüssigkeit üben die Moleküle Kräfte, sogenannte Kohäsionskräfte, aufeinander aus, wobei die Summe aller Kräfte im inneren der Flüssigkeit gleich Null ist, da ein Molekül auf die umliegenden Moleküle eine Kraft ausübt, die umliegenden Moleküle aber auch auf dieses eine Kraft in entgegengesetzter Richtung ausüben. Anders sieht es an der Oberfläche der Flüssigkeit aus. Ein Molekül an der Oberfläche ist nur den Kräften der Moleküle neben und unter ihm ausgesetzt, den über ihm befinden sich keine weiteren Moleküle. Die Folge ist, daß die Kräfte sich dort dann nicht mehr aufheben, es entsteht so eine Resultierende, die zu dem Phänomen der Oberflächenspannung führt.
Heben wir nun ein Oberflächenmolekül leicht an, so werden die Bindungen zu den anderen Molekülen gedehnt, es stellt sich eine Rückstellkraft ein, die versucht, das Molekül in seiner Ursprungsposition (die Oberfläche) zu halten. Versucht man nun die Oberfläche zu vergrößern, so müssen mehr Moleküle aus dem inneren der Flüssigkeit an die Oberfläche. Da die Moleküle in der Flüssigkeit jedoch Kräfte untereinander ausüben, ist dazu eine gewisse Kraft notewendig. Deshalb ist eine Flüssigkeit auch immer bestrebt, eine möglichst kleine Oberfläche anzunehmen. Dies ist z.B. bei Wassertropfen zu beobachten. Sie bilden immer eine Kugel, da diese Form die geringste Oberfläche bietet.
Wenn man nun eine Nadel beispielsweise auf die Oberfläche legen, so werden die Oberflächenmolekühle leicht nach in die Flüssigkeit gedrückt, wobei die Nadel die Oberfläche vergrößert. Da durch die inneren Kräfte der Flüssigkeit eine möglichst geringe Oberfläche angestrebt wird, entstehen Kräfte in entgegengesetzter Richtung, die die Nadel tragen.
Die Kraft, die notwendig ist, um die Oberfläche zu vergrößern, kann man messen, indem man einen Gegenstand, wie die Nadel, von der Oberfläche hebt, und dabei die nötige Kraft mißt. Dabei ist die Kraft proportional zur Länge der vergrößerten Oberfläche. Hebt man nun

die Nadel aus dem Beispiel an, so gibt es eine Gegenkraft, die von der Flüssigkeit, verursacht wird (die Adhäsionskraft). Irgendwann ist Kraft, die die Nadel anhebt, größer als die Kraft, die durch die Oberflächenspannung verursacht wird, und der Oberflächenfilm reißt ab. Da die notwendige Kraft proportional zur Länge der vergrößerten Oberfläche ist, kann man die Kraft, die die Oberfläche ausübt nach folgender Formel berechnen:

$$F = \sigma \cdot l$$

Dabei ist σ der *Koeffizient der Oberflächenspannung* der Flüssigkeit oder einfach die *Oberflächenspannung*. Dabei ist zu beachten, daß die Länge der Nadel zweimal genommen wird, da der Wasserfilm an beiden Seiten der Nadel abreißt.
Zur Bestimmung der Oberflächenspannung gibt es mehrere Methoden, einmal die Möglichkeit einen Körper, wie z.B. die Nadel, von der Oberflächen anheben und dabei Kraft zu messen, oder die Steighöhenmethode. Die Steighöhenmethode beruht auf der Tatsache, daß eine benetzenden Flüssigkeit in einer engen Kapilare (Röhre) nach oben steigt.

Benetzende und nicht-benetztende Flüssigkeiten

Benetzende Flüssigkeiten sind diejenigen, bei denen die Adhäsionskraft im Vergleich zur Kohäsionskraft groß ist. Das bedeutet, daß wenn man Wasser, was eine benetzende Flüssigkeit ist, in eine Glasröhre füllt, die Ränder der Flüssigkeit im Glas höher stehen als die Flüssigkeit in der Mitte. Durch die großen Adhäsionskräfte haftet das Wasser an der Glaswand, Die Adhäsionskraft ist damit groß genug um die Oberfläche des Wassers zu wölben und so die Oberfläche zu vergrößern. Es gibt aber auch Flüssigkeiten, bei denen der umgekehrte Fall vorliegt. Bei ihnen ist die Kohäsionskraft größer als die Adhäsionskraft, was dazu führt, daß die Oberfläche möglichst klein gehalten wird. Die Flüssigkeit wölbt sich in der Glasröhre dann nach oben. Ein Beispiel dafür ist Quecksilber in einer Glasröhre.

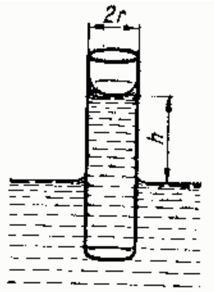

Bild 128. Kapillare Steighöhe bei benetzender Flüssigkeit

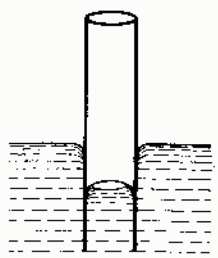

Bild 129. Kapillardepression bei nicht benetzender Flüssigkeit

Kapilarwirkung, Kapilarität

Hält man eine dünne Röhre (Kapilare) in eine benetzende Flüssigkeit, kann man beobachten, daß die Flüssigkeit in der Kapilare aufsteigt. Bei einer nicht-benetzenden Flüssigkeit wie Quecksilber ist genau das Gegenteil der Fall, hier senkt sich der Pegel in der Röhre ab. Dies nennt man Kapilardepression. Die Kraft, die dafür verantwortlich ist, daß die Flüssigkeit aufsteigt, ist die Kraft der Oberflächenspannung. Bei benetzenden Flüssigkeiten ist die Adhäsionskraft größer als die Kohäsionskraft, was dazu führt, das die Flüssigkeit am Rand höher steht als in der Mitte und so die Oberfläche vergrößert. Die Kohäsionskraft bewirkt aber, daß die Oberfläche möglichst klein werden soll, deshalb versucht die Flüssigkeit in der

Mitte nach oben zusteigen, um die Oberfläche zu verringern. Es entsteht eine Kraft die nach oben wirkt. Mit der Mitte steigen aber auch die Ränder, so daß die Flüssigkeit immer weiter steigt. Dies geschieht natürlich nicht beliebig lange, sondern stoppt in dem Moment wo die Gewichtskraft der aufgestiegenen Flüssigkeit vom Betrag genauso groß ist wie die Kraft die nach oben wirkt. Die beiden Kräfte heben sich gegenseitig auf und die Flüssigkeit bleibt stehen. Die Kraft, die die Oberflächenspannung verursacht haben wir oben schon definiert sie lautete:

$$F = \sigma \cdot l = \sigma \cdot 2 \cdot \pi \cdot r$$

Die Gewichtskraft der Flüssigkeit läßt sich aus dem Volumen, der Dichte und der Erdbeschleunigung berechnenen:

$$F = m \cdot g = \rho \cdot V \cdot g = \rho \cdot r^2 \cdot \pi \cdot h \cdot g$$

Nun braucht man nur noch beide Formeln gleichsetzen und erhält die Höhe h.

$$\sigma \cdot \pi \cdot r = \rho \cdot r^2 \cdot \pi \cdot h \cdot g \Rightarrow h = \frac{2 \cdot \sigma}{\rho \cdot r \cdot g}$$

Versuchsdurchführung

4.1 Messung der Abreißkraft

4.1.2 Versuchsbeschreibung

In diesem Versuch hängt ein Ring aus Aluminium mit einem Durchmesser von d=6 cm an einem Kraftmesser. Darunter befindet sich ein Becherglas mit einer Flüssigkeit auf einer höhenverstellbaren Plattform.

Wir beginnen damit den Ausschlag des Kraftmessers zu notieren, wenn der Ring in der Luft hängt. Wir füllen das Glas zunächst mit Leitungswasser. Anschließend fahren wir das Glas soweit nach oben, bis der Ring in die Flüssigkeit eintaucht. Nun fahren wir das Glas langsam nach unten, so daß der Ring wieder auftaucht. Dabei ist zu beobachten, daß der Ring an der Oberfläche hängenbleibt und der Kraftmesser immer weiter ausgezogen wird. Bei einem gewissen Ausschlag reißt der Ring ab. Den Ausschlag im Moment des Abrisses notieren und wiederholen das ganze noch zweimal. Anschließend führen wir den Versuch noch jeweils dreimal mit destliertem Wasser, Wasser mit Spülmittel und Ethanol als flüssigkeiten durch. Die Meßergebnisse sind in der Tabelle zusammengefaßt.

Kraftmesserausschlag bei freihängendem Ring 51mN

Abreißkraft	Leitungswasser	destiliertes Wasser	Spülmittelwasser	Ethanol
1. Messung	71 mN	80 mN	63 mN	61,5 mN
2. Messung	73 mN	79 mN	64 mN	61,5 mN
3. Messung	73 mN	79 mN	64 mN	61,5 mN
Mittelwert	72,3 mN	79,3 mN	63,6 mN	61,5 mN

4.1.2 Bestimmung der Oberflächenspannung

Damit ergibt sich eine Oberflächenspannung nach $\sigma = \frac{F}{l}$.

Bei der Länge ist dabei zu beachten, daß der Abriß innen und außen am Ring erfolgt. Das bedeutet, daß der Umfang des Rings mal zwei genommen werden muß (wenn man die stärke des Rings vernachlässigt). Die Kraft ist die gemessene Kraft bei Abriß abzüglich der Gewichtskraft des Rings. Es folgt:

$$\sigma = \frac{F_{Abriß} - F_{Ring}}{2 \cdot \pi \cdot d}$$

Damit ergeben sich folgende Werte:

Flüssigkeit	Oberflächenspannung
Leitungswasser	0,0566 N/m
destiliertes Wasser	0,0752 N/m
Spülmittelwasser	0,0336 N/m
Ethanol	0,0279 N/m

4.2 Steighöhe in der Kapilare

4.2.1 Versuchsbeschreibung

Bei diesem Versuch stellen wir Kapilare mit unterschiedlichen Durchmessern in verschiedene Flüssigkeiten und Messen dabei die Steighöhe. Wir beginnen damit die Durchmesser der Kapilare mit einem Zentimetermaßstab zu messen. Dies gestaltet sich äußerst schwierig, da die Durchmesser teilweise unter einem Millimeter liegen, und der Maßstab nur eine Millimeteraufteilung hat. Außerdem ist es schwierig genau die Mitte des Röhrchens zu bestimmen und dort zu messen. Deshalb muß man die Meßwerte als äußerst ungenau betrachten, ein Meßschieber hätte deutlich bessere Werte geliefert.
Nachdem nun die Durchmesser mehr oder weniger genau bestimmt waren, wurden die Röhren benetzt und anschließend versucht eingeschlossene Luftblasen aus der Kapilare zu bekommen. Nun werden die Kapilare in ein Gefäß mit Leitungswasser gestellt und die Flüssigkeit steigt auf. Wir versuchen die Steighöhen mit dem Maßstab zu bestimmen, was leider auch recht ungenau ist, da die Flüssigkeit im Röhrchen höher steht als in der Mitte, das Wasser auch an unserem Maßstab hochsteigt und mit bloßem Auge in den dünnen Röhrchen der Wasserstand nur sehr schwer erkennbar ist.
Anschließend wird der Versuch noch einmal mit dem Spülmittelwasser durchgeführt.
Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

Kapilare	1	2	3	4	5
Durchmesser d	3 mm	2 mm	1,5 mm	1 mm	0,5 mm
Steighöhe Leitungswasser	7 mm	11 mm	15,5 mm	20 mm	33 mm
Steighöhe Spülmittelwasser	1,5 mm	3 mm	6 mm	10 mm	14 mm

Bei den Durchmessern beträgt die Ungenauigkeit schätzungsweise +/-0,5 mm.
Die Steighöhen haben einen Fehler von ca. +/-1 mm.

Nachdem die Steighöhen bestimmt waren, maßen wir noch die Dichten der beiden Flüssigkeiten mit der Mohrschen Waage. Bei dieser Waage taucht ein Testkörper mit genau bestimmten Volumen in die Testflüssigkeit, wobei er einen gewissen Auftrieb erfährt. Da der Auftrieb der Gewichtskraft der verträngten Wassermasse beträgt, kann man so auf die Dichte der Flüssigkeit zurück schließen. Die Skala der Mohrschen Waage ist so geeicht, daß man direkt die Dichte der Flüssigkeit ablesen kann. Dabei ergabemn sich die folgenden Werte:

Flüssigkeit	Dichte
Leitungswasser	0,9262 g/cm³
Spülmittelwasser	0,9935 g/cm³

4.2.1 Herleitung der Formel für die Steighöhe

Die Herleitung der Formel zur Steighöhe h in einer Kapilare wurde bereits in den Grundlagen am Anfang beschrieben.

4.2.3 Grafische Darstellung der Steighöhe in Abhängigkeit zu 1/d

In den folgenden Diagrammen ist die Steighöhe h in Abhängigkeit des Kehrwertes des Durchmessers 1/d aufgetragen. Daran ist zu erkennen, daß je dünner die Röhre ist desto höher steigt die Flüssigkeit.

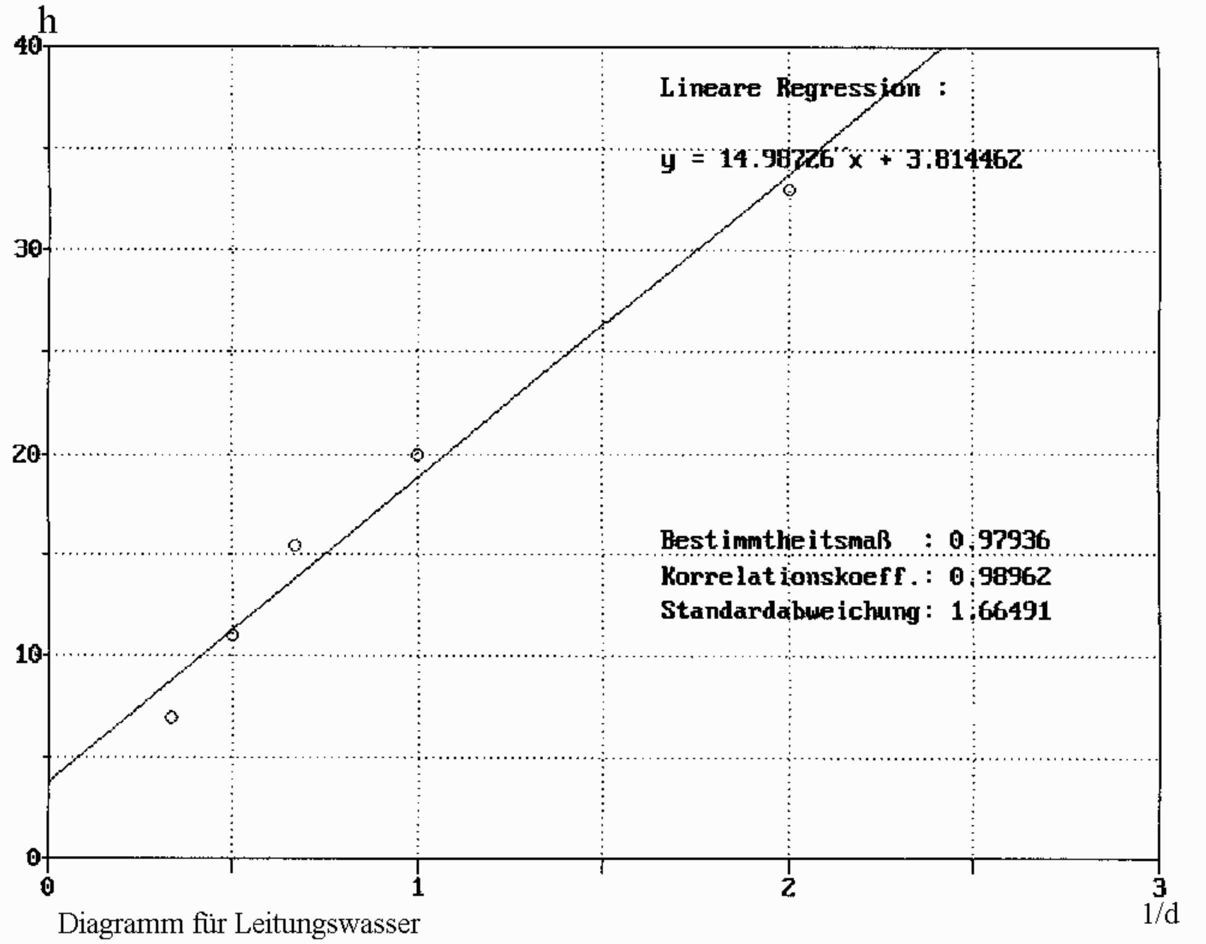

Diagramm für Leitungswasser

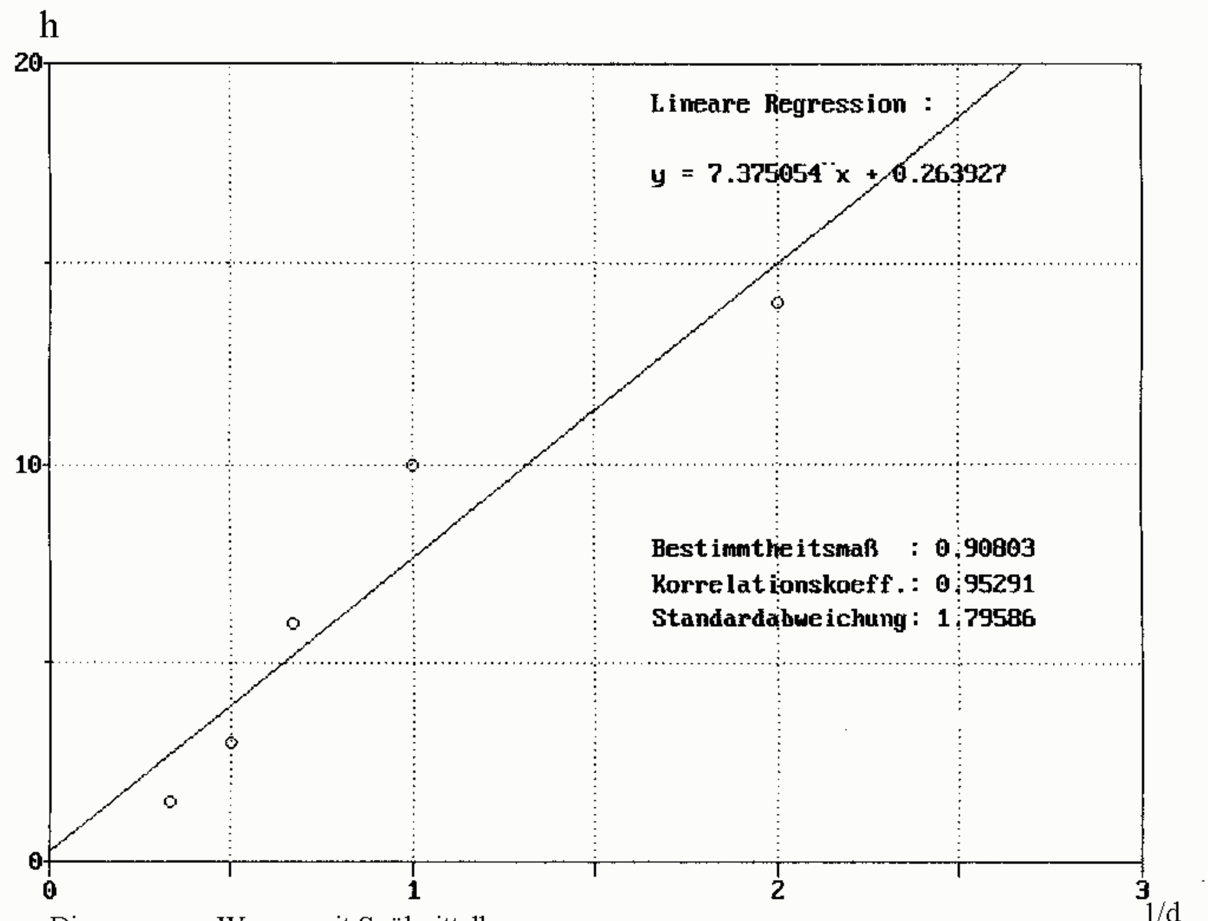

Diagramm zu Wasser mit Spülmittell

4.2.4 Bestimmung der Oberflächenspannung aus der Steigung

Mit Hilfe der Meßwerte wurde unter Verwendung der linearen Regression eine Gerade ermittelt. Stellt man die Formel für die Steighöhe nach der Oberflächenspannung um erhält man:

$$\sigma = \frac{h \cdot d \cdot \rho \cdot g}{4}$$

Die Steigung der Geraden aus den Diagrammen, welche mit der linearen Regression ermittelt wurden, entspricht dem Faktor h*d aus der zuvor genannten Gleichung. Damit kann man nun die Oberflächenspannung ermitteln.

Für das Leitungswasser ergibt sich eine Oberflächenspannung von:

$$\sigma = \frac{h \cdot d \cdot \rho \cdot g}{4} = \frac{1{,}499 \cdot 10^{-5} m^2 \cdot 926{,}2 \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2}}{4} = 0{,}034 \frac{N}{m}$$

Für das Wasser mit Spülmittel:

$$\sigma = \frac{h \cdot d \cdot \rho \cdot g}{4} = \frac{7{,}375 \cdot 10^{-6} m^2 \cdot 993{,}5 \frac{kg}{m^3} \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^2}}{4} = 0{,}018 \frac{N}{m}$$

Wie man sehen kann weichen die Werte der Steighöhenmethode erheblich von den Werten, die mit der Abrißmethode ermittelten, ab. Dies ist damit zu erklären, daß die Bestimmung der Steighöhe und der Durchmesser sich äußerst schwierig gestaltete und diese mit enormen Fehlern behaftet sind. Vergleicht man die Werte mit den Literaturwerten so stellt man fest, daß die in 4.1 ermittelten recht genau sind, während die mit der Steighöhenmethode ermittelten vollkommen daneben liegen.
Deshalb berechnen wir den Fehler mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung. Dazu berechnen zunächst die Fehler bei den einzelnen Kapilare und bilden Anschließend den Mittelwert der Fehler. Die einzelnen Fehler werden nach der folgenden Formel berechnet:

$$\Delta h = \pm 1 mm$$

$$\Delta d = \pm 0{,}5 mm$$

$$\Delta\sigma = \Delta h \cdot \frac{d \cdot \rho \cdot g}{4} + \Delta d \cdot \frac{h \cdot \rho \cdot g}{4}$$

Danach ergeben sich die folgenden Abweichungen für das Leitungswasser:

Δσ 1. Kapilare	0,0148 N/m
Δσ 2. Kapilare	0,0170 N/m
Δσ 3. Kapilare	0,0210 N/m
Δσ 4. Kapilare	0,0249 N/m
Δσ 5. Kapilare	0,0386 N/m
Mittelwert	0,0233 N/m

Für das Wasser mit Spülmittel gilt dann:

Δσ 1. Kapilare	0,0091 N/m
Δσ 2. Kapilare	0,0085 N/m
Δσ 3. Kapilare	0,0110 N/m
Δσ 4. Kapilare	0,0148 N/m
Δσ 5. Kapilare	0,0183 N/m
Mittelwert	0,0123 N/m

Wie man sieht sind die Fehler doch beträchtlich, woraus folgt, daß die Daten aus den Diagrammen, bei denen keine Fehler berücksichtigt wurden, sehr ungenau sind.