

Small Instrument – Big Task

A Historical Account of how a Repsold Universal Instrument came to serve at the Arctic End of the Struve Geodetic Arc

Bjørn Ragnvald Pettersen und Jürgen Müller

Abstract

Source material in Norwegian and German archives has been searched to track the construction history of a small Repsold Universal Instrument that served at the Arctic end of the Struve arc. Handwritten letters by professor Christopher Hansteen in Oslo and instrument maker A. & G. Repsold in Hamburg have been transcribed. Relevant excerpts are quoted throughout this paper in order to document the historical milestones leading to the first Norwegian contribution to international collaboration in geodesy. The triangulation of the Struve arc in north Norway was done during the summer months of 1846 and 1847. A baseline in Alta, established with equipment from Pulkovo Observatory, was connected to the Struve arc by a series of expanding triangles, measured by the Repsold instrument during the summer of 1850. We briefly review the role of the instrument and the precision of the observations. Selected stations of the Struve arc, four of them in Norway, were included on the UNESCO world heritage list in 2005.

Zusammenfassung

Um die Konstruktionsgeschichte eines kleinen Repsoldschen Universalinstrumentes, das am arktischen Ende des Struve-Bogens eingesetzt wurde, nachzuverfolgen, wurden etliche Quellen aus norwegischen und deutschen Archiven gesichtet. Handschriftliche Briefe von Prof. C. Hansteen aus Oslo und dem Instrumentenbauer A. & G. Repsold aus Hamburg wurden aus dem Original übertragen. Relevante Auszüge werden in diesem Beitrag zitiert, um die historischen Meilensteine zu dokumentieren, die zum ersten norwegischen Beitrag für die internationale geodätische Zusammenarbeit führten. Die Triangulationsarbeiten des Struve-Bogens in Nordnorwegen wurden während der Sommermonate 1846 und 1847 durchgeführt. Eine Basislinie in Alta, die mithilfe von Messequipment aus Pulkovo beobachtet wurde, wurde mit dem Struve-Bogen über Dreieckerweiterungen verbunden. Diese Messungen erfolgten mit dem Repsold-Instrument während des Sommers 1850. Wir geben einen kurzen Überblick über die Rolle des Instrumentes hierbei und die erreichten Genauigkeiten der Beobachtungen. Ausgewählte Stationen des Struve-Bogens, davon vier in Norwegen, wurden von der UNESCO 2005 zum Weltkulturerbe erklärt.

1 Introduction

The Struve geodetic arc of $25^{\circ}20'$ between the Black Sea and the Arctic Ocean developed over several decades from efforts initiated independently by colonel Carl Tenner and professor Friedrich Georg Wilhelm Struve. Between 1816 and 1827 Tenner established a meridional arc of $4^{\circ}32'$ referred to the observatory in Vilnius, Lithuania (Struve 1828). Struve was director of the astronomical observatory of Tartu, Estonia (then Dorpat) and selected its well determined geographical coordinates as the reference point of an arc of $3^{\circ}35'$ (Struve 1823, 1824, 1829). In 1828 the two arcs were connected (Struve 1828). The interest of the Russian tsar ensured further extensions in both directions (Smith 2000). In 1844 Struve, now director of Pulkovo Observatory, was formally put in charge of the project under the auspices of the Academy of Science in St. Petersburg. Struve (1851, 1860) proposed the Academy of Science in Stockholm that a collaboration should be established to extend the arc to North Cape at the Arctic Ocean. A plan was submitted to the King of Sweden and Norway, who resolved on 3 December 1844 that reconnaissance missions should take place in northern Sweden and Norway during 1845. The Ministry of Finance in Norway consulted with professor Christopher Hansteen, director of the Geographical Survey of Norway. Unusually rapid processing by ministerial officials concluded on 12 April 1845 that Norway was ready and willing. A joint Swedish/Norwegian government meeting in Stockholm made the formal approvals on 13 June 1845.

Hansteen was appointed project leader of the Norwegian efforts. He selected army lieutenants F.L. Klouman and C.A.B. Lundh as field observers. They had specialized in surveying during their final year at the Military College in Oslo. Klouman had first hand experience from Finnmark, the northernmost county of Norway. He had surveyed its coastal regions during the summers of 1840 and 1841. In 1845 a large number of stations were considered candidates for the Struve arc. Many along the coast were eventually rejected because the triangles were too elongated. The designated astronomical site at Havøysund was rejected in favour of Fuglenes near Hammerfest, implying that the north terminal at North Cape was also omitted. Klouman and Lundh recommended six coastal stations between Hammerfest and Alta. Further south another seven stations were selected on inland

mountain tops. These stations were observed by Klouman and Lundh in 1846 and by Klouman in 1847. In 1850 Klouman and D.G. Lindhagen measured a baseline at Alta. Klouman connected this to the Struve arc by a series of expanding triangles, and Lindhagen made the



Fig. 1: Portraits of Hansteen, Klouman and Lundh

astronomical observations at Fuglenes (Pettersen 2007). This site and three others in Finnmark were included on the UNESCO world heritage list in 2005, along with 30 other stations in ten countries to honour the technical and scientific achievements of this grand project.

2 The instrument pre-history

The story of the universal theodolite used for the Norwegian part of the Struve geodetic arc began several years before the project arrived to Scandinavia. In Staatsarchiv Hamburg there is a letter from Christopher Hansteen to A. & G. Repsold dated *Christiania den 7sten Sept. 1840*. It addressed several topics, of which one was

... Unsere militaire Hochschule wünscht einen astronomischen Theodolithen zur Vertical- und Horizontal-Messung; ungefähr von der Größe wie die kleinen Ertelschen, die Sie wahrscheinlich bei Schumacher gesehen haben (Ich glaube der Durchmesser ist 8 Zoll). Wollen Sie einen solchen übernehmen? ...

*Ihr ganz ergebener,
Hansteen*

Repsold's response letter is kept in the astronomy archives of the University of Oslo:

Hamburg d. 15ten Septbr. 1840.

... Den Theodolithen für Ihre militairische Hochschule, dessen Sie erwähnen, werden wir sehr gerne ausführen, wenn die Lieferung nicht gar zu bald gefordert wird, bis zum nächsten Sommer denken wir einen solchen vollenden zu können. ...

*Ihr ganz ergebenster
A. & G. Repsold*

The manufacturing of a surveying instrument in 1840 was a special order. It was also an expensive enterprise. Most instrument makers took a year or longer to finish the product. For the buyer it was a costly investment which was maintained accordingly. Such instruments served for several decades, in contrast to today with automated production lines and a new model available every few years. The following story illustrates this remarkable difference, and is unique in that its development may be tracked in detail through the handwritten correspondence so well kept in archives in Germany and Norway.

In 1840 Repsold was preparing an equatorial telescope for the University Observatory in Oslo.

In a letter to Hansteen a month later addressing this issue, Repsold closed his communication by attempting a clarification about the geodetic instrument.

Hamburg d. 20ten Octb. 1840.

... und ersuchen wir Sie um die Gefälligkeit uns gelegentlich gütigst mittheilen zu wollen ob wir den kleinen Theodolithen für die militairische Hochschule anfertigen sollen, da grade noch ein zweites solches Instrument bey uns bestellt worden ist, und es die Arbeit erleichtern würde wenn beyde Instrumente zu gleicher Zeit gefertigt werden könnten. ...

Two months later, Mrs. Johanne Hansteen died of typhoid fever. The loss hit Hansteen hard, who was left to care for their six children. His entire correspondence seems to have temporarily halted for several months. It was 24 May 1841 before Hansteen replied to Repsold:

... Allerdings war es mein unbedingter Wunsch, Sie sollten den kleinen astronomischen Theodolithen verfertigen; und ich muss mich darüber wider meinem Willen sehr schlecht ausgedrückt haben, weil Sie daran zu zweifeln scheinen. Wir erwarten den Theodolithen sehnsuchtsvoll in diesem Sommer, und das Geld dazu liegt parat. ...

Repsold's response was immediate:

Hamburg d. 1 Juny 1841.

... Die Ausführung des kleinen Theodolithen, dessen Sie erwähnen, werden wir mit Vergnügen übernehmen und selbige möglichst rasch betreiben, wir fürchten jedoch die Lieferung nicht vor dem Herbste bewerkstelligen zu können. ...

3 Delay foreseen – another instrument instead?

But further delays could not be avoided so that A. & G. Repsold proposed an alternative.

Hamburg d. 29ten Juny 1841.

... Es ist uns sehr unangenehm in Betreff des gewünschten Theodolithen erwähnen zu müßen, daß das stattgehabte Mißverstehen die Nichtausführung desselben bis jetzt zur Folge hatte und daß es uns wohl kaum möglich werden wird, denselben vor nächstes Frühjahr zu liefern, da wir durch frühere Übernahme mehrerer anderer Instrumente, welche noch in diesem Jahre abgeliefert werden sollen, zu sehr beschäftigt sind und überdem jetzt ein großer Mangel an tauglichen Arbeitern stattfindet, indem die mehrsten derselben jetzt zu dem ... lucrativeren Maschinenebau übertreten. Sollten Sie nun indessen wegen dieser verspäteten Lieferung in Verlegenheit kommen und nicht so lange warten können, so müssen wir Sie, wengleich höchst ungerne, bitten den Theodolithen von einem Andern zu beziehen, denn uns ist in der That die rasche Erfüllung Ihres Wunsches unmöglich. Sollten Sie übrigens in diesem uns unangenehmen Falle es wünschen so würden wir gerne erbietig seyn uns zu erkundigen ob Ertel etwa ein solches Instrument vorräthig hat. ...

It took one year before Hansteen addressed the geodetic instrument in a letter to Repsold on 2 May 1842. He totally overlooked Repsold's suggestion of another manufacturer.

... Den Theodoliten für die militaire Hochschule erwarten wir sehnsuchtsvoll. ...

Repsold was still not able to deliver the instrument. One month later, on 3 June 1842, he proposed an arrangement with professor Heinrich Christian Schumacher in nearby Altona:

... In Bezug auf den Theodolithen welchen wir leider wegen gar zu überhäufeter Arbeit noch nicht haben vollenden können, möchten wir Ihnen vorschlagen ob es Ihnen genehm ist wenn wir Ihnen jetzt gleich, statt dessen einen 8 zölligen Ertelschen schicken um die Sache nicht länger hinzuhalten. – Herr Conferenzzrath Schumacher ist so freundlich gewesen uns einen solchen sehr wohl erhaltenen vorläufig zu überlassen, wenn wir ihm nachträglich einen anderen unserer Arbeit liefern wollen und so hoffen wir daß die Sache zu arrangiren ist und daß Sie uns wegen unseres langen Aufschubs jener Arbeit nicht gar zu hart tadeln werden.

Ihrer gefälligen Antwort entgegensehend und mit der Bitte unser eiliges Schreiben zu entschuldigen, zeichnen wir mit ausgezeichnete Hochachtung

ergebenst

Adf & G Repsold

With some doubt Hansteen accepted an Ertel theodolite on 4 July 1842:

... Das freundliche Anerbieten Freund Schumachers nehme ich mit Danckbarkeit an; ich bitte ihm meinen freundlichsten Danck abzulegen. Zwar hätte ich lieber ein Instrument von Ihrer Arbeit genommen; für die militaire Hochschule aber ist der Ertelsche Theodolith vollkommen gut genug. ...

However, the transfer of the Ertel theodolite did not turn out to be straight forward. An instrument maker employed by A. & G. Repsold, Herr Flittner, was scheduled to travel to Oslo to mount and adjust a Repsold equatorial telescope at the University Observatory. This created an opportunity of also bringing the geodetic instrument. Repsold wrote on 11 August 1842:

... Der Theodolith welchen Herr Conferenzzrath Schumacher uns gütigst für Ihre militairische Hochschule überlassen will, ist jetzt in Copenhagen und wenn es irgend möglich ist so wird Flittner Ihnen denselben mitbringen, sollte dieses aber nicht möglich seyn so werden wir suchen Ihnen das Instrument baldigst zu schicken. ...

Schumacher had employed the Ertel theodolite in one of his field projects that summer and it was thus not available when Herr Flittner began his journey. After his return to Hamburg, Repsold wrote to Hansteen on 22 November 1842:

... In Bezug auf den Theodolithen welchen Herr Conferenzzrath Schumacher uns gütigst vorläufig für Sie überlassen wollte, bedauern wir Ihnen jetzt melden zu müssen daß derselbe uns jenes Instrument jetzt leider nicht liefern kann da es anderweitig benutzt wird; um aber Ihre Nachricht nun nicht länger zu mißbrauchen werden wir uns beeilen in diesem Winter einen Theodolithen zu vollenden welchen wir gleich in Frühjahre hoffen senden zu können; oder falls unvorhergesehene Hindernisse uns dieses unmöglich machen sollten werden wir suchen Ihnen wenigstens ein Münchner Instrument zu schicken. ...

Hansteen accepted the situation and returned to start. On 20 December 1842 he wrote to Repsold:

... Man ist immer so erfreut ein Instrument von Ihrer Hand zu erhalten, daß man nicht darauf rechnet, ob man etwas warten muß. Wir wissen ja, daß Sie Ihre Kunst aus Lust und nicht um Geld zu gewinnen treiben, da Sie Ihre Zeit gewiß vorteilhafter auf grobere Arbeiten anwenden könnten. Sie leben für die Astronomie aber nicht von der Astronomie; es ist folglich immer als eine Gunst anzusehen wenn Sie jemandem ein Instrument liefern, wofür man danckbar seyn muß, ob es früh oder spät ankommt. Einen Theodolithen von Ihrer Arbeit zu bekommen würde mir viel lieber seyn, als einen Ertelschen. ...

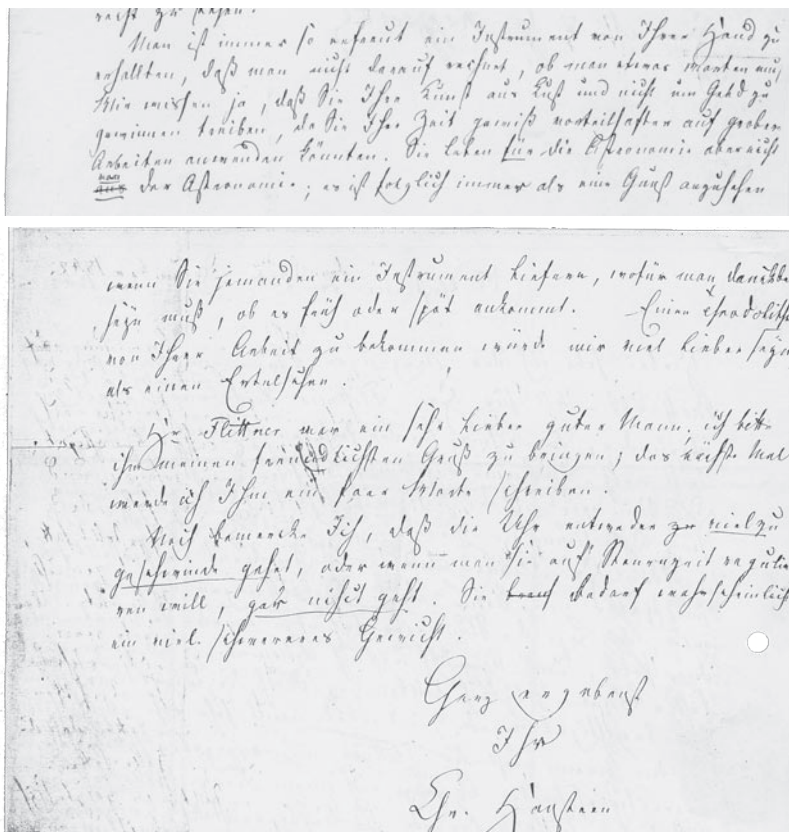


Fig. 2: Facsimile of the letter from Hansteen to Repsold on 20 December 1842

4 The Repsold Universal Instrument

So, after more than two years of delays, the topic changed to the design and construction of the instrument. Repsold wrote on 30 December 1842:

... Indem wir Ihnen unsern wärmsten Danck für Ihre außerordentlich freundliche Nachsicht abstatten, mögten wir bey Ihnen anfragen ob der Theodolith welchen Sie zu haben wünschen, ein astronomischer, multiplisirender, ähnlich den Ertel'schen seyn soll, oder ob Ihnen ein möglichst einfach construirtes Winkelmeß-Instrument willkommen seyn würde? In letzterem Falle würden wir, sobald Sie uns mit einer gefälligen Nachricht erfreut haben werden, ein derartiges Instrument mit Vertical- und Azimuthal-Kreis in Arbeit nehmen bey welchem das Fernrohr außerhalb der Lager zu liegen käme, im andren Falle werden wir uns mehr nach die Ertel'schen Instrumenten richten müßen. Jedenfalls werden wir suchen die Arbeit jetzt möglichst zu fördern um Ihre Geduld nicht länger auf eine unverantwortliche Probe zu stellen, und bitten Sie daher uns recht bald durch einige Zeilen Ihren Willen mitzutheilen.

Hansteen's specifications arrived a month later:

Christiania den 2ten Februar 1843.

... Was den bestellten Theodolithen betrifft, so muß er sowohl zu Vertical- als Horizontal-Messungen eingerichtet sein; bequem zum Transport in bergigen Gegenden. Glauben Sie, daß das von Ihnen berührte einfache Winkelmeß-Instrument mit Azimuthal- und Vertikal-Kreis und Fernrohr außerhalb der Lager, diese Bedingungen erfüllen werde, so habe ich eine Vorliebe vor Ihre Constructionen, da ich weiß, daß Sie gewöhnlich so wohl für Bequemlichkeit als Genauigkeit gesorgt haben, und wollte daher dieses Instrument wählen. Da die Vertikal-Messung hauptsächlich zur Polhöhenbestimmung angewandt werden soll, so muss diese ebenso scharf wie die Azimuthal-Messung sein. ...

Repsold confirmed immediately (10 February 1843) that he would design an instrument to meet Hansteen's requirements:

... Eben so ist es uns außerordentlich angenehm eine Entscheidung von Ihnen wegen des anzufertigenden Theodolithen erhalten zu haben; wir werden jetzt nicht säumen ein derartiges Instrument sogleich in Arbeit zu nehmen, bey welchem wir uns bemühen werden möglichste Einfachheit und Leichtigkeit mit den Anforderungen der Zweckmäßigkeit zu verbinden. ...

A month later he reports on 10 March 1843 that the instrument parts were in production:

... Der oft erwähnte Theodolith ist bereits in Arbeit genommen. Wir haben übrigens das Fernrohr desselben nach weiterer Überlegung nicht außerhalb der Lager gelegt, sondern zwischen dieselben. Die Construction des Instruments ist möglichst einfach und wird hoffentlich Ihren Beifall finden.

Towards the end of the year Hansteen was impatiently expecting the instrument. He kept himself informed about shipping opportunities between Hamburg and Oslo, knowing that they would stop completely during the winter when storms increased and the Oslo Fjord could freeze in. On 27 October 1843 he wrote:

Wehrtester Hr Repsold.
Ein Norwegischer Schiffer L.J. Jensen, welcher einen Schonner Ingeborg Anna führet liegt jetzt in Hamburg, und wird fertig zum Absegeln im Anfange November.

*Haben Sie etwas fertig für uns, so bitte ich es abzuschi-
cken; besonders wartet die militaire Hochschule seh-
nlichst auf die Theodolithe.*

And again in the spring, on 7 April 1844:

*Aus den Zeitungen sehe ich, daß der Schiffs-Kapitain
N. Iversen von Christiania mit den Schonner Preciosa
in Altona angelegt habe, ein Ladung nach
Christiania einzunehmen. Sollten Sie etwas
für uns fertig haben, z. B. das Winkel-Instru-
ment für Horizontal- und Vertikal Messung,
welches für die militaire Hochschule bestellt
ist, oder der Sonnenschirm für die Stern-
warte, so würden Sie mich sehr erfreuen,
wenn Sie sie absenden wollten. Nach den
Winkel-Instrument (Theodoliten) wird so oft
gefragt und ich kann keine andere Antwort
geben, als daß er schon längst bestellt ist. ...*

Later that summer, Repsold responded on
28 June 1844:

*... Den kleinen Theodoliten hoffen wir Ih-
nen nun mehr auch endlich bald liefern zu
können, da derselbe bis auf die Theilungen,
einige kleine Nebenarbeiten und die Packung
vollendet ist; wir werden uns beeilen densel-
ben bald möglichst fertig zu machen um Ihre uns bewie-
sene freundlichste Nachsicht nicht auf eine fast unverant-
wortliche Weise zu mißbrauchen. ...*

This coincides in time (summer of 1844) with F.G.W. Struve's visit to the Academy of Science in Stockholm to propose a scientific cooperation to extend the geodetic arc to North Cape (Struve 1851, 1860). Hansteen was unaware of this until the royal decree was issued on 3 December 1844. He was then approached by the Norwegian Ministry of Finance to deliver the views and recommendations of the Geographical Survey of Norway, which were incorporated into the Ministry's position paper of 12 April 1845 in preparation for the joint government meeting of Norway and Sweden in Stockholm on 13 June 1845.

At this time Hansteen had still not received the Repsold theodolite. In a letter dated 30 May 1845 he stated that *die militaire Hochschule sehnt sich nach den Theodoliten.*

Repsold responded on 13 June 1845 that the delay was caused by the dividing of the circles.

*... Der militairischen Hochschule dagegen hoffen wir in
einigen Wochen den leider schon oft erwähnten Theodoli-
then zusenden zu können, indem die letzte Arbeit an sel-
bigem, nämlich die Theilung der Kreise u.s.w. woran wir
so lange verhindert wurden, jetzt vorgenommen wird.*

Towards the end of the year Repsold had completed the universal instrument and shipped it to Norway. On 27 November 1845 he wrote:

*Es gereicht uns zur besonderen Vergnügung, geehrtester
Herr Professor, Ihnen mit Gegenwärtigem die Anzeige
machen zu können daß wir in voriger Woche den von
Ihnen bereits seit langem bestellten Theodolithen an Sie*

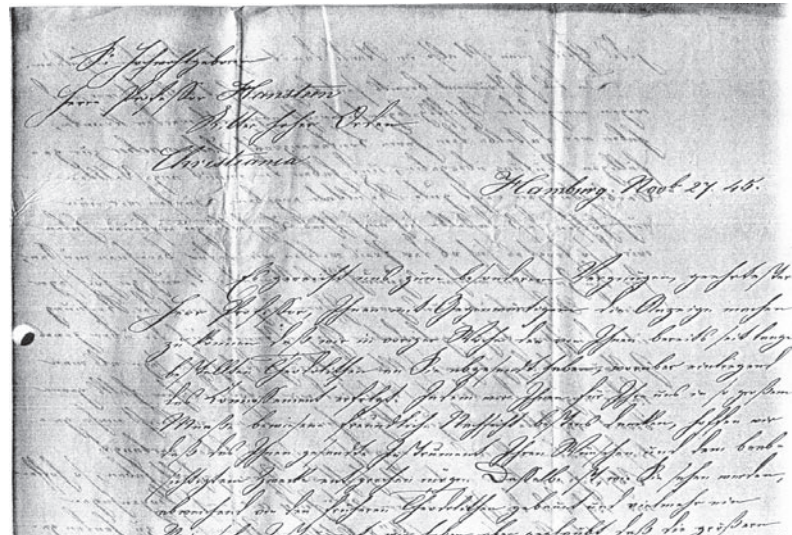


Fig. 3: Facsimile of the letter from Repsold to Hansteen on 27 November 1845

*abgesendet haben, worüber einliegend das Konnossement
erfolgt. Indem wir Ihnen für Ihre uns in so großem Maaße
bewiesene freundliche Nachsicht bestens dancken, hoffen
wir daß das Ihnen gesandte Instrument Ihren Wünschen
und dem beabsichtigtem Zwecke entsprechen möge. Das-
selbe ist, wie Sie sehen werden, abweichend von den
früheren Theodoliten gebauet und vielmehr ein Univer-
sal-Instrument, wir haben aber geglaubt daß die größere
Genauigkeit welche mit einem solchen, an sich nur klei-
nem und leicht transportablem Instrumente zu erreichen,
Ihnen willkommen seyn dürfte.*

*Um mit demselben absolute Höhen messen zu können,
ist dessen senkrechte Achse durchbohrt, und kann man
mit dem Fernrohr durch dieselbe directe auf den Nadir
einstellen, indem man den kleinen Quecksilber-Horizont
vermittelst des beygepackten Ringes unten aufstellt. Ei-
nen zweiten künstlichen Horizont haben wir beygege-
ben um sich desselben zu bedienen wenn man Messun-
gen durch Reflection zu machen beabsichtigt. Für jenen
Fall wo bey vielleicht nicht ganz solider Aufstellung des
Instruments die Einstellung des Nadirs, wegen Oscil-
lation des Quecksilbers, nicht zu erreichen seyn sollte,
haben wir ein kleines Niveau gefertigt welches an die
Mikroskopträger angehängt werden kann, und so daran
richtige Stellung versichert. Die Theilung der Scheiben
an den Mikroskopen ist gleich 10 Secunden für jedes
Theil, man ist also im Stande damit einzelne Secunden
abzulesen.*

Da das Instrument bereits seit längerer Zeit vollendet war, und wegen mangelnder Schiffsgelegenheit nicht abgesendet werden konnte, haben wir dasselbe dem Herrn Conferenzzrath Schumacher zur gefälligen Prüfung übergeben, und haben die damit angestellten Beobachtungen recht gute Resultate ergeben. Dürfen wir nun auch hoffen dass dasselbe sich auch Ihres Beyfalls zu erfreuen haben wird, so fragt es sich ob der Preis welchen wir dafür berechnen müßen, für den Zweck für welchen es zuerst bestimmt ist, auch zu hoch seyn wird. Wir erlauben uns zwar Ihnen zugleich mit der Rechnung über die Ihnen früher gelieferten Gegenstände, auch die über jenes Instrument beyzulegen, sollte der Preis jedoch höher seyn als man dafür anzuwenden bereit ist, so sind wir erforderlichenfalls gerne bereit daSelbe wieder zurück zu nehmen, da wir vielleicht mehr geliefert haben als was man möglicherweise zu haben verlangt.

Ogleich wir keine weitere Nachricht von Ihnen gehabt haben, so hoffen wir doch daß die Ihnen unterm 22ten July a. c. nach Kopenhagen gesandte Anweisung von Banco Mark 640,- Ihnen s. z. zu Händen gekommen und honorirt worden ist. In Ihrem nächsten Schreiben haben Sie vielleicht die Güte uns einige Worte darüber mitzutheilen.

Indem wir Sie schliesslich ersuchen uns durch eine geneigte Nachricht erfreuen zu wollen, sobald Sie in Besitz des Instruments seyn werden, danken wir Ihnen nochmals aufrichtigst für Ihre uns bewiesene große Nachsicht und Geduld, und empfehlen wir uns Ihnen, in der Hoffnung bey etwa später eintretenden Gelegenheiten Ihnen prompter dienen zu können, aufs angelegentlichste.

Hansteen payed promptly by mail on 19 December 1845:

Hiebei habe ich das Vergnügen Ihnen die Summe Banco Mark 1235 4B für den Theodolithen in zwei Wechseln von Banco Mark 950 (John Grevedt) in Hamburg, und 285 4B (J. H. M. Gehrt) in Altona zu übersenden. Ich bitte mir ein Quittung für diese Summe als Beilage zu der Rechnung, mit der nächsten Post aus, unter Adresse: «An die königl. Militaire Hochschule in Christiania». ...

Repsold confirmed the receipt of the payment on 27 December 1845:

Mit dem verbindlichsten Danke für Ihre, uns gestern zugekommene, gütige Rimessse Banco Mark 1235.4 für den Ihnen gesandten Theodolithen, verhehlen wir nicht Ihnen befolgend die verlangte Quittung über den richtigen Empfang zuzustellen. ...

5 Testing the Repsold Universal Instrument

Hansteen started immediate testing of the universal instrument in the Observatory Gardens, by comparing it to an older and larger one by Reichenbach (Pettersen 2002). He had arranged with the Military Hochschule to transfer Repsold's instrument to the Geographical Survey of Norway in return for an older theodolite by Ertel. No doubt,

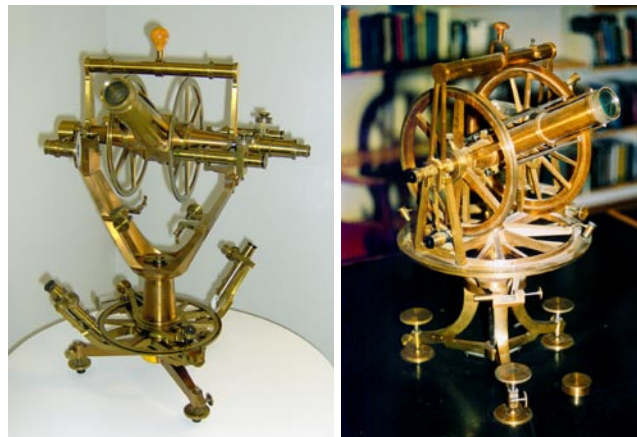


Fig. 4: The Repsold (left) and Reichenbach (right) universal instruments

the arguments of national honour and international collaboration had carried weight. He wrote to Repsold the following summer:

Christiania den 25sten Mai 1846.

... Die zwei vortrefflichen Universalinstrumente sind jetzt nach Lappland gegangen, um da ein Dreiecks-Netz zu messen. Die Russische Regierung hat nämlich eine Gradmessung ausführen lassen von Donau Podolien über Dorpat, und den Finnischen Meerbusen durch Finnland nach Tornedå, wo der Svenbergsche Meridianbogen von neuem nachgemessen wird und hat die Schwedische und Norwegische Regierung ersucht, diese weiter fortzusetzen durch das Schwedische und Norwegische Lappland nach Hammerfest (Dieses wird folglich der größte Meridianbogen, der je gemessen ist; wie dem alles was Russland vornimmt großartig sein soll), welches vom Könige zugestanden worden, und von zwei Schwedischen Beobachtern nach der norwegischen Grenze, von zwei norwegischen Offizieren von da nach Hammerfest ausgeführt wird. Bei dieser Gelegenheit habe ich diese zwei Instrumente durchstudiert, und habe meine Freude daraus gehabt. In diesen Sommer werden bloß terrestrische Winkel gemessen. Es ist eine Schwierigkeit in unserem Lande solche Operationen auszuführen, wovon man in südlicheren Gegenden keinen Begriff hat. Wenn man in 68°–70° Breite und in ganz öde unbevölkerten Gegenden, wo weder Weg noch Steg ist, biwakiere; hohe Berge von 2000–4000 Fuß Höhe besteigen muß; Berge welche es oft mit Lebensgefahr verbunden ist, selbst ohne Instrumente, zu besteigen; und

da auf dem Gipfel, triefend vor Schweiß, und zitternd vor Ermattung (und gewöhnlich von einen heftigen Wind ausgesetzt) eine Menge Winkel mit der größten Schärfe und Beharrlichkeit messen soll, so gehört dazu eine norwegische kernfeste Constitution. Die beiden Herren, welche im vorigen Jahre die Dreieckspunkte ausgesucht und Signale aufgestellt hatten, fürchteten, dass das größere Universalinstrument unmöglich auf den höheren Gebirgen transportirt werden könnte; denn ein Mann muss es auf den Rücken tragen, und wenn er, mit einen solchen Last auf den Rücken, über Stellen aufklimmen soll, wo lose Steine herunter rollen, und wo ein unbelasteter Mann nur mit der größten Schwierigkeit und Gefahr fortkommen kann, so würde sehr leicht Mann und Instrument zu Grunde gehen. Sie wählten daher hauptsächlich das kleine letzterhaltene Instrument, welches die Direction der geographischen Vermessung der militairischen Hochschule abgekauft hat oder ausgetauscht gegen einen Ertelschen astronomischen Theodoliten. Wegen möglicher Unglücksfälle habe ich sie aber auch das größere Instrument mitgegeben.

Von einen Marmor Pfeiler im Garten der Sternwarte habe ich mit beiden Instrumenten den Horizontalwinkel zwischen zwei Kirchthürmen in der Stadt, und die Zenithdistanz des einen Thurmknopfes gemessen, und fand mit dem kleinen Instrumente den Horizontalwinkel aus 4 Messungen = $32^{\circ} 47' 16.'' 1$ mit umgelegten Instrum. 6 Messungen = $32^{\circ} 47' 15.'' 7$ Den wahrscheinlichen Fehler einer einfachen Winkelmessung = $2.'' 11$, welches wohl alles ist, was man aus einem so kleinen Instrumente erwarten kann.

Die Zenithdistanz des einen Thurmknopfes fand ich mit dem nämlichen Instrumente durch 7 Messungen auf die gewöhnliche Weise durch Umdrehung des Instruments 180° in Azimuth = $88^{\circ} 29' 39.'' 16$ mit dem wahrscheinlichen Fehler einer einfachen Bestimmung = $4.'' 275$. Die Luft war etwas unruhig, und da sie zu verschiedenen Tageszeiten gemessen wurden, war wohl auch die terrestrische Refraction etwas verschieden.

Das größere Instrument hat bei den Nonien des Horizontalkreises eine unangenehme und starke Parallaxe, welche mir die Ablesung beschwerte, oder unsicher machte. Wahrscheinlich würde durch fortgesetzte Uebung eine gewisse Stellung des Auges angewöhnt werden, wobei dieses Urteil sehr vermindert werden könnte. Ich beobachtete nur

zweimal mit diesem Instrumente denselbigen Horizontalwinkel und fand $32^{\circ} 47' 7.'' 0$ und $32^{\circ} 47' 13.'' 5$. Vielleicht liegt die Fläche des Kreises etwas zu tief unter der Fläche der Nonien. Die Zenithdistanz des Thurmknopfes wurde mit diesem Instrumente gefunden durch eine Messung = $88^{\circ} 29' 12.'' 6$ mit umgelegtem Instr. eine Messung = $88^{\circ} 29' 18.'' 5$ im Mittel = $88^{\circ} 29' 15.'' 55$.



Fig. 5: Extract of a map of Oslo (1844), with the observatory and the two churches identified

Da aber die Höhe der Horizontal-Achse des kleineren Instrumentes über die Oberfläche des Pfeilers $0,481$ (beinahe $\frac{1}{2}$ Fuss) größer war, als die Höhe der Achse des größeren, und der Horizontal-Abstand des Thurms $4250'$ war, so wird die Reduction dieser Zenithdistanz auf den Horizont des kleineren Instruments = $+23.'' 33$, und folglich die reducirte Zenithdistanz = $88^{\circ} 29' 38.'' 88$. Das kleine Instrument gab $88^{\circ} 29' 39.'' 16$.

Auf dem Niveau des Mikroskopenthalers des kleinen Instrumentes war geschrieben $1,1$ theil = $10''$, folglich 1 theil = $9.'' 09$. Bedeutet r und l die theilstriche auf der rechten und linken Seite der Luftblase, von der Mitte gegen beide Ende gelesen, so nehme ich immer als Argument für die Correction der Zenithdistanz den Unterschied $r-l$. Ich fand aber, dass wenn $r-l = 10$ theile ist, so gehört dieser Unterschied $45.'' 5$, oder 1 theil zu $4.'' 55$, also die Hälfte von der obigen Angabe. Sie müssen folglich bei 1 theil verstehen, wenn jedes Ende der Blase ein theil durchgelaufen hat, welches nach meiner Praxis 2 theile giebt.

Die dreifache Methode, wodurch man mit diesem Instrumente Zenithdistanzen messen kann, ist sehr ingenios. Die Spiegelbilder der Filamente zu sehen, wenn man Distanzen vom Nadir messen will, ist aber etwas schwer. Es ist mir bloss einmal vollkommen reussirt, und ein an-

dermal weniger gut; aber mehrmals war es mir unmöglich. Ich weiss nicht aus welcher Ursache; ich drehete den Spiegel des Ocular nach verschiedenen Gegenden des Himmels ohne Erfolg. – Auf dem Dache des Künstlichen Horizonts sind zwei kleine Elphenbeinerne Knöpfe, die herausgenommen werden können, und deren Bestimmung ich nicht errathen kann. – In den Mikroskopröhren des größeren Instruments liegen zwei lose elliptische durchbohrte Elphenbeinerne Platten. Warum sind diese los? Sie kommen dabei leicht aus der rechten Lage, und können der Ablesung hinderlich sein, oder wegkommen.

Ich und meine zwei Officiere gewannen das kleine Instrument sehr lieb. Es ist ein Vergnügen damit zu arbeiten; und die Mikroskopen Ablesung ist mir viel angenehmer und bestimmter, als die der Nonien. ...

Ihr ergebenster
Christ. Hansteen.

6 Error estimates from field observations

The Repsold instrument occupied 15 stations along the Struve arc in Finnmark in 1846 (by Klouman and Lundh) and in 1847 (by Klouman). From a total of 57 angle determinations we compute a standard error of $\pm 1.92''$.

In 1850 a baseline was measured in Alta (Lindhagen 1860, p. LXXXVI) with instruments from Pulkovo Observatory (Struve 1857b, 1860, Ch. 6). The Repsold instrument was used for alignment during the advancement of the linear rods. The endpoints of the baseline and a nearby station were occupied by Daniel G. Lindhagen with a

large Ertel theodolite from Pulkovo Observatory. A total of 13 angles yielded a standard error of $\pm 0.60''$. Fredrik L. Klouman used the Repsold theodolite to occupy nine stations between the baseline and a connecting triangle side of the Struve Arc. A total of 55 angles yielded a standard error of $\pm 1.65''$. This implies a weight ratio of 7.5:1 between the two instruments, in agreement with Lindhagen (1857, p. 449). The standard error we derived above for the arc itself (1846–47 data) and for the connecting arc

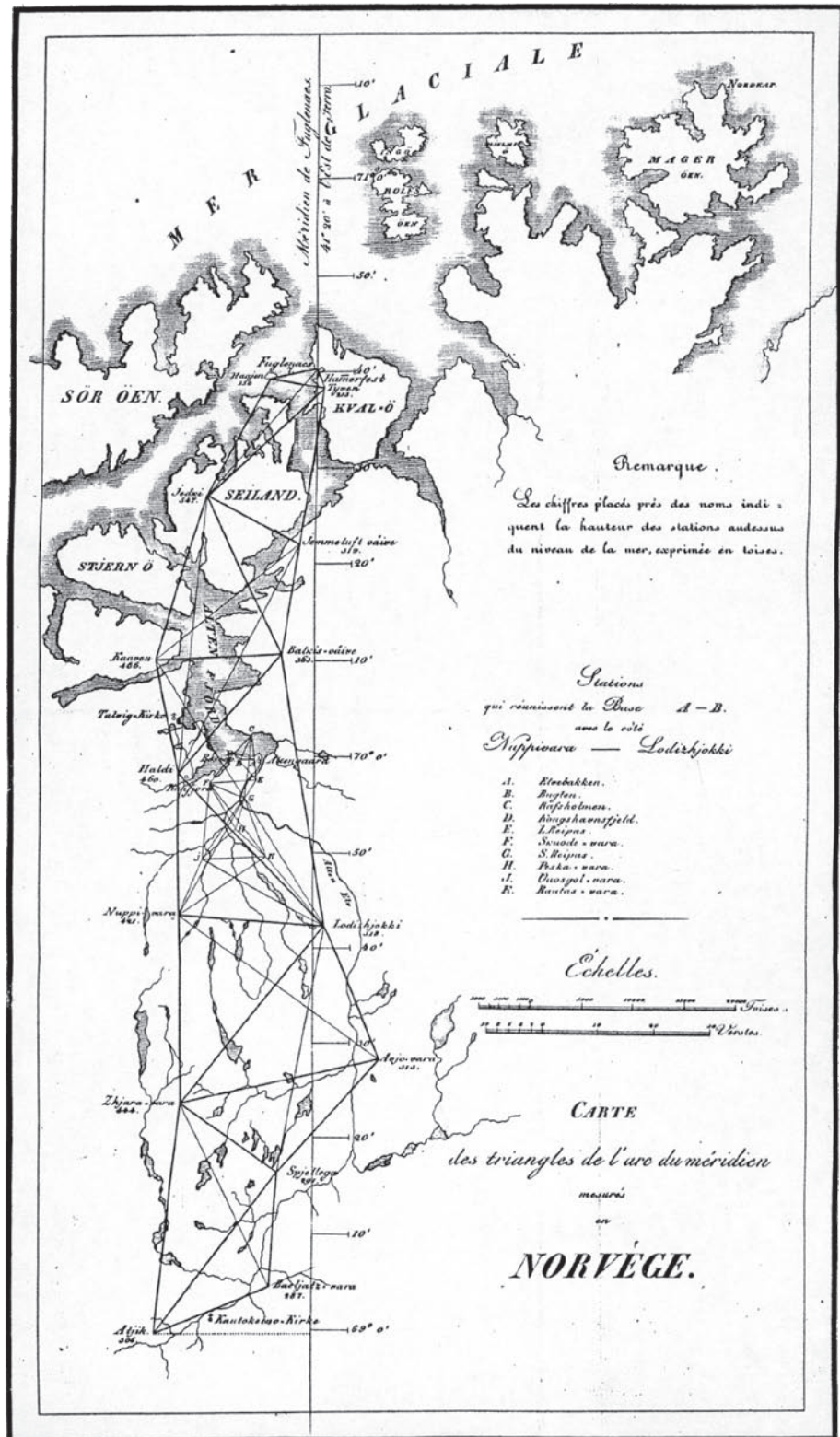


Fig. 6: The northern end of the Struve arc and the connecting arc of expanding triangles between the baseline in Alta and two connecting stations in the Struve arc (Reproduced from Planche XIX in Struve 1857b)

of expanding triangles from the baseline (1850 data) form a ratio of 1.16, which agrees exactly with the same ratio of probable errors derived by Struve (1857a, p. 415).

During directional measurements in 1850 successive series of observations were made with alternate directions of rotation. On some stations, combinations of two alternate directions yielded smaller uncertainties than when analyzed as a series of individual observations (Lindhagen 1857, p. 429). This suggests that a certain instrumental compensation takes place when two successive series of observations in two different directions of rotation are combined. It also helps explain why the errors are 16% larger in the 1846–47 data, when alternate directions of rotation were not employed.

7 Trigonometrical levelling

The Repsold instrument was used at 19 stations to determine zenith angles to other stations, i. e. relative height determinations by trigonometrical levelling. One determination was usually the average of five to six individual

Tab. 1: Average standard errors of zenith angle observations, in arc seconds.

Year	No. of obs.	Average σ
1846	13	2.9" \pm 1.5"
1847	10	2.5" \pm 1.1"
1850	17	3.2" \pm 1.4"

observations. At some sites there was no protection available against strong wind. On such occasions the standard error would grow to $\pm 8-12''$. For each annual campaign we have computed the standard error of the zenith angles, excluding outliers obtained during strong wind. The results are listed in Tab. 1.

The trigonometrical levelling data were used by Lindhagen (1857, p. 479) to compute the height above sea level for the mountaintop stations once the distance between them had been derived from triangulation and baseline results. He estimated that the average probable error of a height estimate is about one meter, and it varies between 0.7 m and 1.6 m for the individual stations in the Struve arc. The expanding triangles between the baseline and the arc have much smaller dimensions and the probable errors of the heights are 0.2 m to 0.4 m.

8 Conclusions

Original correspondence, now kept in collections of handwritten documents in several archives and libraries, has revealed how a Repsold universal instrument came to serve at the northern end of the Struve arc. Originally intended as a training instrument for military cadets in Norway, it appears that a series of unfortunate delays was a stroke of luck leading to perfect timing for the arrival of a miniaturized instrument to Norway.

Hansteen's own conclusion regarding the construction and performance of the instrument is summarized in a letter to Repsold:

Sternwarte bei Christiania den 3ten Mai 1850.

... Ihr kleines schönes Universal-Instrument, welches für die militaire Hochschule bestellt war, aber jetzt der Geographischen Vermessung angehört, hat schöne Dienste gemacht bei der Fortsetzung der großen Russischen Gradmessung von Torneå durch Schwedisch und Norwegisch Lappmark nach Hammerfest (70° 40' Breite). Der Norwegische Lieutenant Klouman, der auf seiner Reise nach Pulkovo, glaube ich, Sie besucht hat, hat damit sehr gute Messungen ausgeführt, und es sehr bequem gefunden, da größere Instrumente auf 2000–3000' hohe Gebirge unter dem Polarkreise nicht transportirt werden können...

*Mit den größten Hochachtung
Ihr ganz ergebener
Chr. Hansteen.*

The Repsold instrument was used to establish the triangular arc in 1846 and 1847, and to connect the baseline in Alta to this arc in 1850, by a series of expanding triangles. It was used for trigonometric levelling to determine the height of the mountain tops for the first time in Norway. The arctic contribution to the Struve geodetic arc was the first government funded participation of Norway in an international scientific project. In 2005 the Struve geodetic arc was entered onto the UNESCO world heritage list.

Acknowledgements

It is a pleasure to acknowledge the assistance by staff members of several archives and libraries where handwritten letters and documents are now kept, especially at the University of Oslo, the Norwegian Mapping Authority, the Royal Library in Copenhagen, Hamburg Staatsarchiv and Staatsbibliothek zu Berlin. Part of this work was done during a sabbatical visit to Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover (BRP).

References

- Lindhagen, D.G., 1857: Über den Geodätischen Theil der Norwegischen Gradmessungs-Operationen. In: *Arc du Méridien de 25° 20' entre le Danube et la Mer Glaciale* (ed. F.G.W. Struve), Tome Second, St. Pétersbourg, p. 425–483.
- Lindhagen, D.G., 1860: Rapport sur l'Expédition au Finnmarken Norvégien de 1850. In: *Arc du Méridien de 25° 20' entre le Danube et la Mer Glaciale* (ed. F.G.W. Struve), Tome Premier, St. Pétersbourg, p. LXXXII–C.
- Pettersen, B.R., 2002: Christopher Hansteen and the first observatory at the University of Oslo. 1815–28, *Journal of Astronomical History and Heritage*, vol. 5 (2), p. 123–134.
- Pettersen, B.R., 2007: The Norwegian part of the Struve geodetic arc – an original instrument rediscovered. *Survey Review*, vol. 39, p. 294–307.
- Smith, J.R., 2000: The Struve Geodetic Arc, *Mensuration, Photogrammétrie. Génie rural*, vol. 5, p. 322–330.
- Struve, F.G.W., 1823: Brief des Herrn Professors Struve, an den Herausgeber. *Astronomische Nachrichten* (ed. H.C. Schumacher), vol. 2, p. 135–136 and p. 145–148.
- Struve, F.G.W., 1824: Lettre de M. Struve, Correspondance Astronomique (ed. F.X. Zach), vol. 8, p. 23–33.
- Struve, F.G.W., 1828: Ueber die Vereinigung zweier in Russland ausgeführten Breitengradmessungen. *Astronomische Nachrichten*, Vol. 6, p. 391–394.
- Struve, F.G.W., 1829: Resultate der Gradmessung in den Ostseeprovinzen Russlands. *Astronomische Nachrichten*, vol. 7, p. 385–400.
- Struve, W., 1851: Exposé Historique, p. 11. *Académie Impériale des sciences*, St. Petersburg.
- Struve, F.G.W., 1857a: *Arc du Méridien de 25° 20' entre le Danube et la Mer Glaciale*. Tome Second, St. Pétersbourg.
- Struve, F.G.W., 1857b: *Arc du Méridien de 25° 20' entre le Danube et la Mer Glaciale*. Planches, St. Pétersbourg.
- Struve, F.G.W., 1860: *Arc du Meridien*. Tome Premier, p. XXII. *Académie Impériale des sciences*, St. Petersburg.

Notes on illustrations

- Fig. 1: The portrait of Hansteen is in the photo-collection of the Royal Library, Copenhagen. The portraits of Klouman and Lundh are in the archives of the Defense Museum, Oslo.
- Fig. 2: Letters from Hansteen to Repsold are in Staatsarchiv, Hamburg.
- Fig. 3: Letters from Repsold to Hansteen are in the Astronomy Archive of the University of Oslo.
- Fig. 4: Photographs of the universal instruments are by one of the authors (BRP).
- Fig. 5: A print of the 1844-map of Oslo is owned by one of the authors (BRP). The lines connecting the observatory with the two churches were added by the authors.
- Fig. 6: The map of the northern end of the Struve arc is reproduced from Planche XIX in Struve (1857b).

Authors' addresses

Prof. Dr. philos. Bjørn Ragnvald Pettersen
Department of Mathematical Sciences and Technology
University of Environmental and Life Sciences
P O Box 5003, 1432 Ås, Norway
bjorn.pettersen@umb.no

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Müller
Leibniz Universität Hannover
Institut für Erdmessung
Schneiderberg 50, 30167 Hannover
mueller@ife.uni-hannover.de