

Three unusual slide rules for aircraft tracking

Karl Kleine

Virtual IM 2020

slide rules & manufacturers

Askania-Werke, Berlin

- **Askania Kreisrechenscheibe**

Dennert & Pape, Hamburg-Altona

- **KRS 40**
- **QR 41**

time frame: 1930–1944

location: Germany

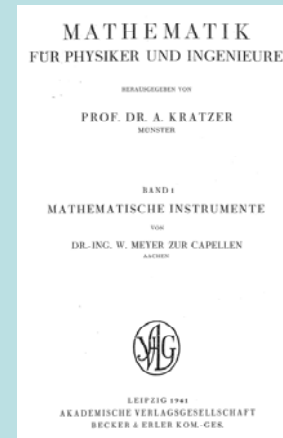
a story about slide rule archaeology – 1

email from a militaria collector:
what is this object?



Meyer zur Capellen
Mathematische Instrumente

Leipzig 1941



visit & inspection of object needed at the
museum of the German Air Force, Berlin–Gatow

a story about slide rule archaeology – 2



in the middle of an otherwise empty hangar of the
Militärhistorisches Museum der Deutschen Luftwaffe

a story about slide rule archaeology – 3



a story about slide rule archaeology – 4



Walter Meyer zur Capellen (1902–1985)

Mathematische Instrumente

three editions: 1941 / 1944 / 1949

50

B. Rechengeräte.

logarithmischen Rechenmaschine: Nur werden beim Schieber gewissermaßen die Fenster bewegt und gekuppelt, während die Bänder stillstehen. Soll z. B. $a \cdot b$ ermittelt werden, so wird Arm 1 auf a und Arm 2 auf 1 gestellt. Dann kuppelt man und dreht solange, bis der Arm 2 auf b steht; jetzt zeigt Arm 1 das Produkt $a \cdot b$ an. Die Division folgt entsprechend. Auf der Rückseite des Schiebers ist beiläufig eine Teilung für $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$ angebracht. Der Schieber dient u. a. für astronomische Rechnungen, für Auswertung von geodätischen Messungen und für Messungen bei der Flugabwehr (Sv. 297). Zu seiner Bedienung sind zwei Personen erforderlich. In einer kleineren Ausführung von 60 cm Durchmesser genügt eine Person.

1944

50

B. Rechengeräte.

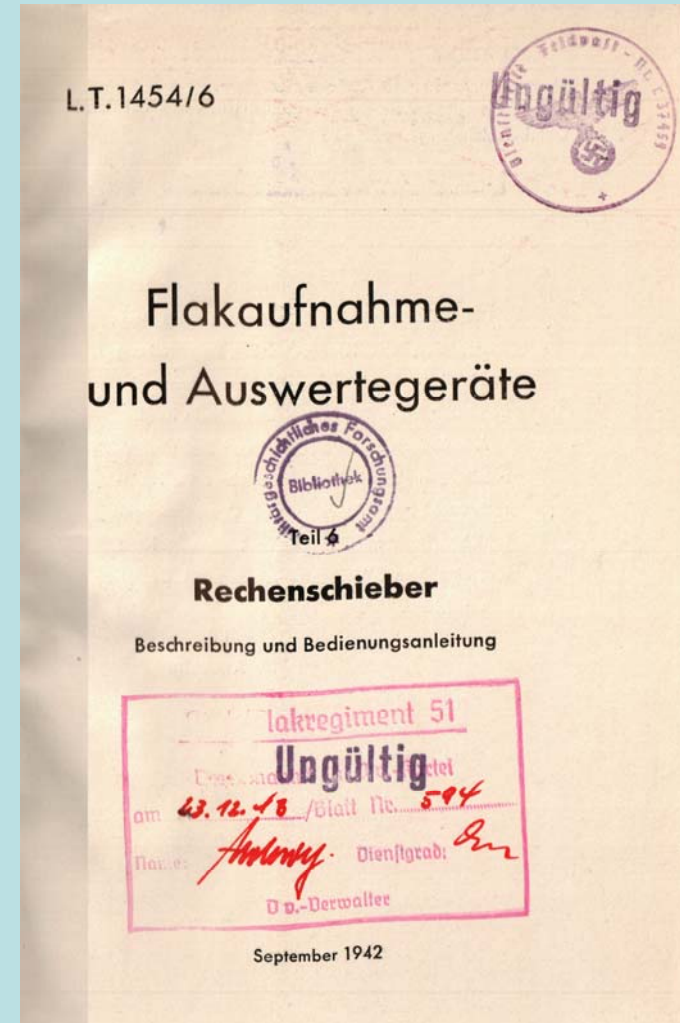
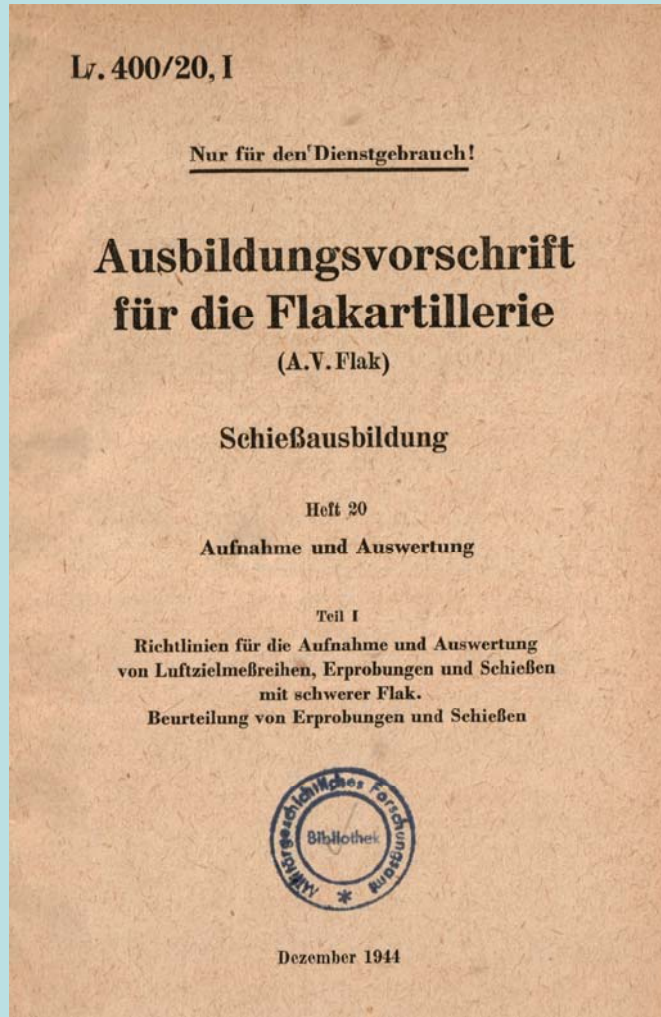
logarithmischen Rechenmaschine: Nur werden beim Schieber gewissermaßen die Fenster bewegt und gekuppelt, während die Bänder stillstehen. Soll z. B. $a \cdot b$ ermittelt werden, so wird Arm 1 auf a und Arm 2 auf 1 gestellt. Dann kuppelt man und dreht solange, bis der Arm 2 auf b steht; jetzt zeigt Arm 1 das Produkt $a \cdot b$ an. Die Division folgt entsprechend. Auf der Rückseite des Schiebers ist beiläufig eine Teilung für $d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$ angebracht. Der Schieber dient u. a. für astronomische Rechnungen, für Auswertung von geodätischen Messungen. Zu seiner Bedienung sind zwei Personen erforderlich. In einer kleineren Ausführung von 60 cm Durchmesser genügt eine Person.

1949

Difficulties in obtaining documents

- general problems for slide rules for special equipment / machinery
- particular problems for military equipment
- conceptual documents
- usage and maintenance manuals
- manufacturer's documentation / manuals

a story about slide rule archaeology – 6

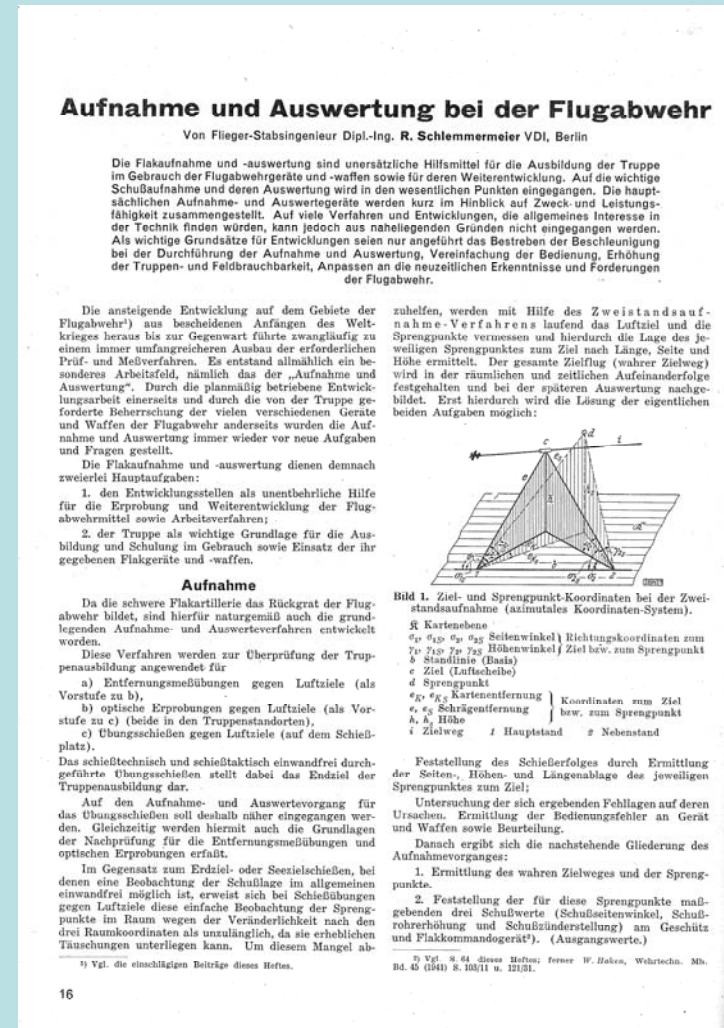


regulations from the archive / library of the research institute for military history of the German armed forces,
Zentrum für Militärgeschichte und Sozialwissenschaften der Bundeswehr, Potsdam

a story about slide rule archaeology - 7



reprint collection of the journal of the
German Association of Engineers



key conceptual article

a story about slide rule archaeology – 8

(Feuerleitgerät) dem Geschütz eingeleiteten Werte ermittelt werden. Auf demselben Wege werden die Eigenschaften von Übertragungseinrichtungen, Zünderstellmaschinen, Entfernungsessern und anderen Geräten bestimmt.

Da bei Aufnahmen dieser Art auf dem Filmbild sowohl das Ziel als auch Sprengpunkte erscheinen, wird die Auswertung der Aufnahmen in der Weise durchgeführt, daß mit Hilfe des bereits erwähnten

Auswertegerätes die Lage beider Ziele zueinander im Winkelmaß bestimmt wird. Die Umrechnung dieser Ablagewinkel auf die tatsächliche im Raum vorhandene Schräg Entfernung zwischen beiden Punkten kann ebenfalls mit dem Kreisrechenschieber vorgenommen werden. Für diese Rechnung weist der Kreisrechenschieber eine zweite Teilung auf — Quadrattteilung — die die Rechnung entsprechend dem auf den Raum erweiterten Pythagoras-Lehrsatz gestattet. Brü.

Schneller und bequemer rechnen

mit Askania-Auswertegeräten und mathematischen Hilfsgeräten

Wer nie vor endlosen Zahlenreihen gesessen oder vor der Aufgabe gestanden hat, ein und dieselbe mathematische Formel oft zu lösen, der kennt den Wert der unscheinbaren rechnerischen und mathematischen Hilfsgeräte nicht, die wir neben den großen Instrumenten z. T. als Ergänzung derselben und z. T. als selbständige mathematische Geräte herstellen.

Die Ergänzungsgeräte sind bei solchen Beobachtungsinstrumenten nötig, die nicht unmittelbar das zu messen gestatten, auch nicht durch eine besondere Eichung der Ableseskala, was eigentlich interessiert. So mißt z. B. der Theodolit Winkel und nicht Längen, Entfernungen oder Höhen, die darum erst aus den Winkeln und gewissen weiteren Größen berechnet werden müssen und das natürlich schnell, sicher und bequem. Zu den dazu gebrauchten Hilfsmitteln zählen eigentlich schon die Auswertformulare, die wir verschiedenen Instrumenten befügen können. Weiter sind als allgemeine Geräte die bekannten Addier- und Multiplikationsmaschinen und die gewöhnlichen Rechenschieber zu nennen. Diese allgemeinen Geräte bauen wir nicht. Unsere Geräte dienen besonderen Aufgaben und setzen dort ein, wo die allgemeinen Rechenmaschinen nicht ausreichen.

Bei der Auswertung der Winkelmessungen mit dem Kinotheodoliten sind Rechnungen der folgenden Art schnell und auf 4 Stellen genau auszuführen: $z = \sqrt{a^2 + b^2 + \dots + h^2}$ oder $z = a \cdot b \cdot \sin \alpha \cdot \cos \beta$. Dazu ist besonders unser Kreisrechenschieber geeignet.

Was bei gewöhnlichen geraden Rechenschiebern die festen Teilungen übernehmen, nämlich die Einstellung der ersten Zahl und des Resultats, ist hier durch Teilungen auf einem Kreis und auf einer Spirale ersetzt, die eine Ringscheibe von 1 m größtem Durchmesser mehrmals umläuft. Auf der einen Seite der Ringscheibe ist außer einer logarithmischen Teilung für die Zahlen von 10–100 längs des Kreises eine

Quadrattteilung längs der Spirale angebracht und nach den Wurzelwerten von 0–100 bzw. 0–50 beziffert. Die andere Seite oder eine zweite Ringscheibe trägt statt der Quadrattteilung eine Teilung nach den logarithmischen Werten der sin- und cos-Funktion. Zwei beliebig mit einander klemmbare Schwenkarne mit Marken, die über die Skalen gleiten, ersetzen die Zunge des gewöhnlichen Rechenschiebers. Denn zwischen die beiden Arme kann man eine zweite Zahl nehmen und sie ebenso an die erste Zahl antragen oder in die erste Zahl hineinragen, wie man beim gewöhnlichen Rechenschieber verfährt. Die genannten Additionen von Quadratzahlen und Multiplikationen der Winkelfunktionen sind also leicht durchzuführen und zwar auch wegen des großen Kreisumfangs mit der nötigen Genauigkeit.



Der Askania-Kreisrechenschieber zur schnellen Lösung schwieriger mathematischer Aufgaben

Inhalt: Askania-Gasgeräte auf der Reichsausstellung „Schaffendes Volk“ Düsseldorf 1937 — Die Luftzielmessung mit Askania-Kinotheodoliten — Schneller und bequemer rechnen mit Askania-Auswertegeräten und mathematischen Hilfsgeräten — Ebbe und Flut sind am Askania-Barographen ablesbar — Aus unserem Werk Mariendorf — Askania-Warmwasserbereiter von innen und außen gesehen! — Unser Ausstellungsraum für Gasgeräte Berlin C 2 — Der Zeitfunk des Deutschen Kurzwellensenders besuchte die Askania-Werke — Reichssieger im Reichsberufswettkampf 1937 — Berlin-Stockholm . . . 900 km = 4 Flugstunden — Ringsherum ist nichts als Wüste — Askania auf der 1. Internationalen Luftfahrt-Ausstellung Brüssel 1937 — Die Askania-Kinokamera im Dienste der Ufa — Askania-Geräte in der japanischen Presse — Askania-Druckschriftendienst — Staffellauf Potsdam-Berlin — Askania fährt aus - mit Vollkraft voraus.

Internal Newsletter reveals

Askania Kreisrechenscheibe
originally not a military item

a story about slide rule archaeology – 9

What can we learn from this story?

- There is much hearsay, guess work, fairy tales, particularly in historic military technologies.
- **You must see everything with your own eyes!**
- Search original documents, but read even these with care! Beware their history! Double check!
- Learn the lingo of the people in the field!
Learn about their professional culture!
- Learn about information sources, play their game.
- No quick results. It will take time & effort.

Askania-Werke, the manufacturer

Carl Bamberg (1847–1892)

- apprentice of Carl Zeiss in Jena 1862–1866
- moved to Berlin in 1869, own workshop 1871
- fast growing reputation as maker of high quality scientific instruments
- 1888 incorporation of his company *Carl Bambergs Werkstätten für Präzisions-Mechanik und Optik* in Berlin Friedenau, often called *Bambergwerke*

Askania Werke Aktiengesellschaft

- 1921 incorporation as publicly traded company, fusion of *Bambergwerke* with *Central-Werkstatt für Gasgeräte GmbH*, Dessau, in Berlin-Friedenau

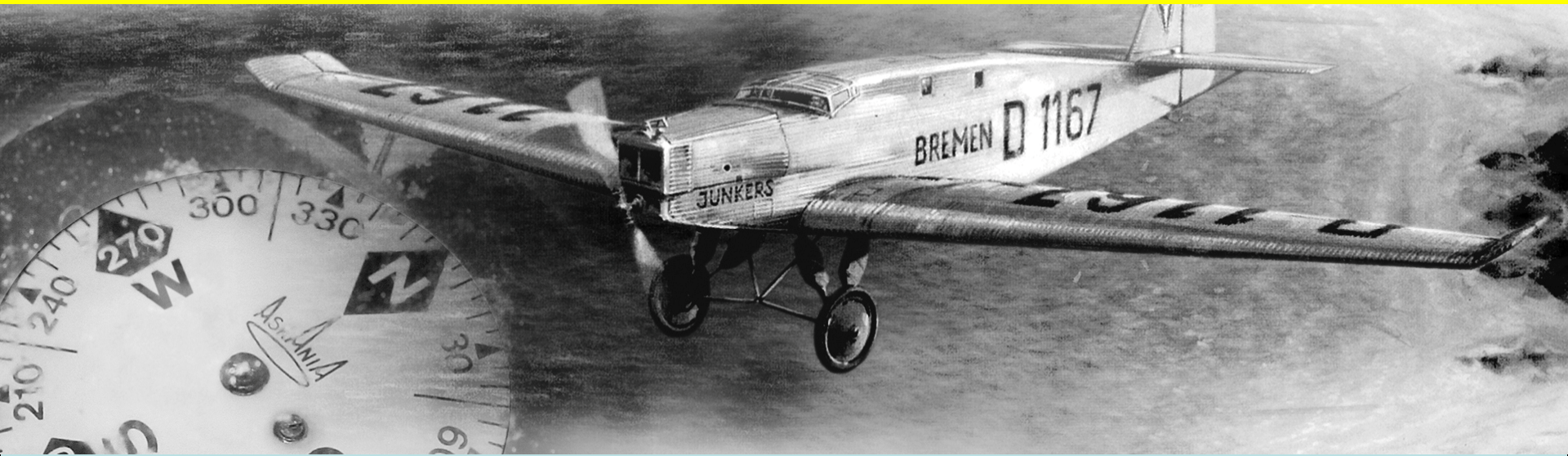
Askania-Werke, the manufacturer – 2

product spectrum Askania-Werke



- precision measurement devices
- scientific instruments
 - often customer specific one/few of a kind devices
- control devices
 - industrial controls of all kinds
 - appliances for customers, in particular for gas heating
- optical devices
- timing devices, watches
- navigation instruments, sea and air
- equipment for the film industry
 - cameras, projectors, associated equipment

aircraft instruments



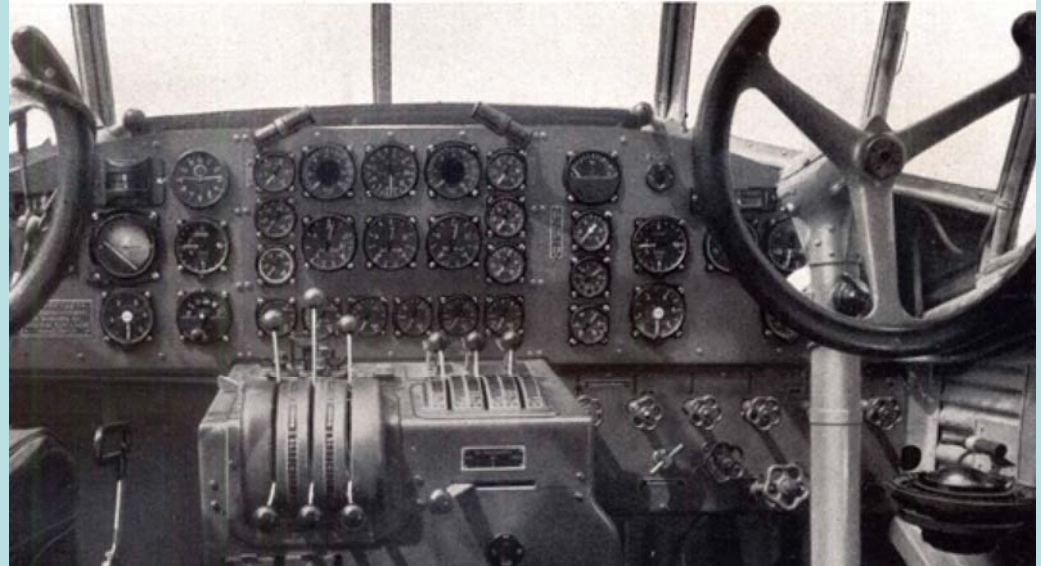
Passenger travel by airplane in 1920s / 30s

- emerging booming business [also cargo & airmail]
- 1920 first all-metal passenger plane
Junkers D13 for 4 passengers
- 1926 incorporation of *Deutsche Luft Hansa AG*
- 1932 triple engine JU52 for 17 passengers

aircraft instruments



Junkers JU52/3m, aka *Tante JU* or *Iron Annie*



Askania Instruments

above in JU52 cockpit

below prefabricated instrument panel for small single engine planes, demo for sales with docs



need of aircraft tracking from the ground

need for instrument manufacturer

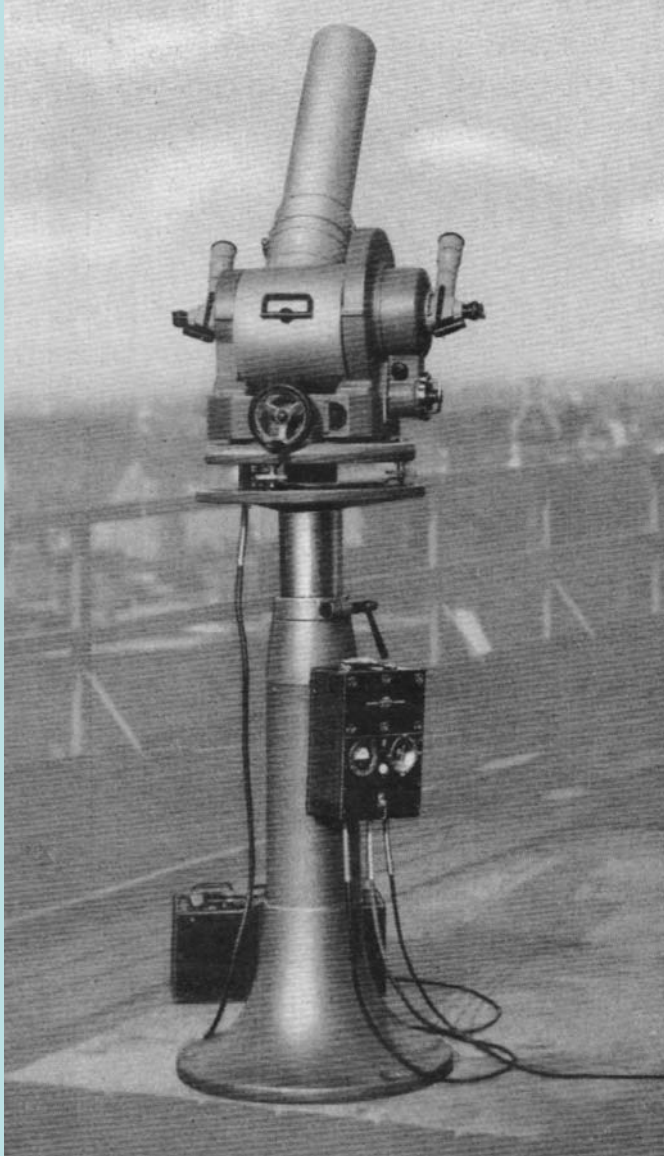
- development / testing of instruments
- calibration
- certification
- no telemetry available as today, but ground based reference data
- no space for reference instruments and recording aboard and their operator

**Askania needed
a product for
internal use**

also need of aircraft manufacturers

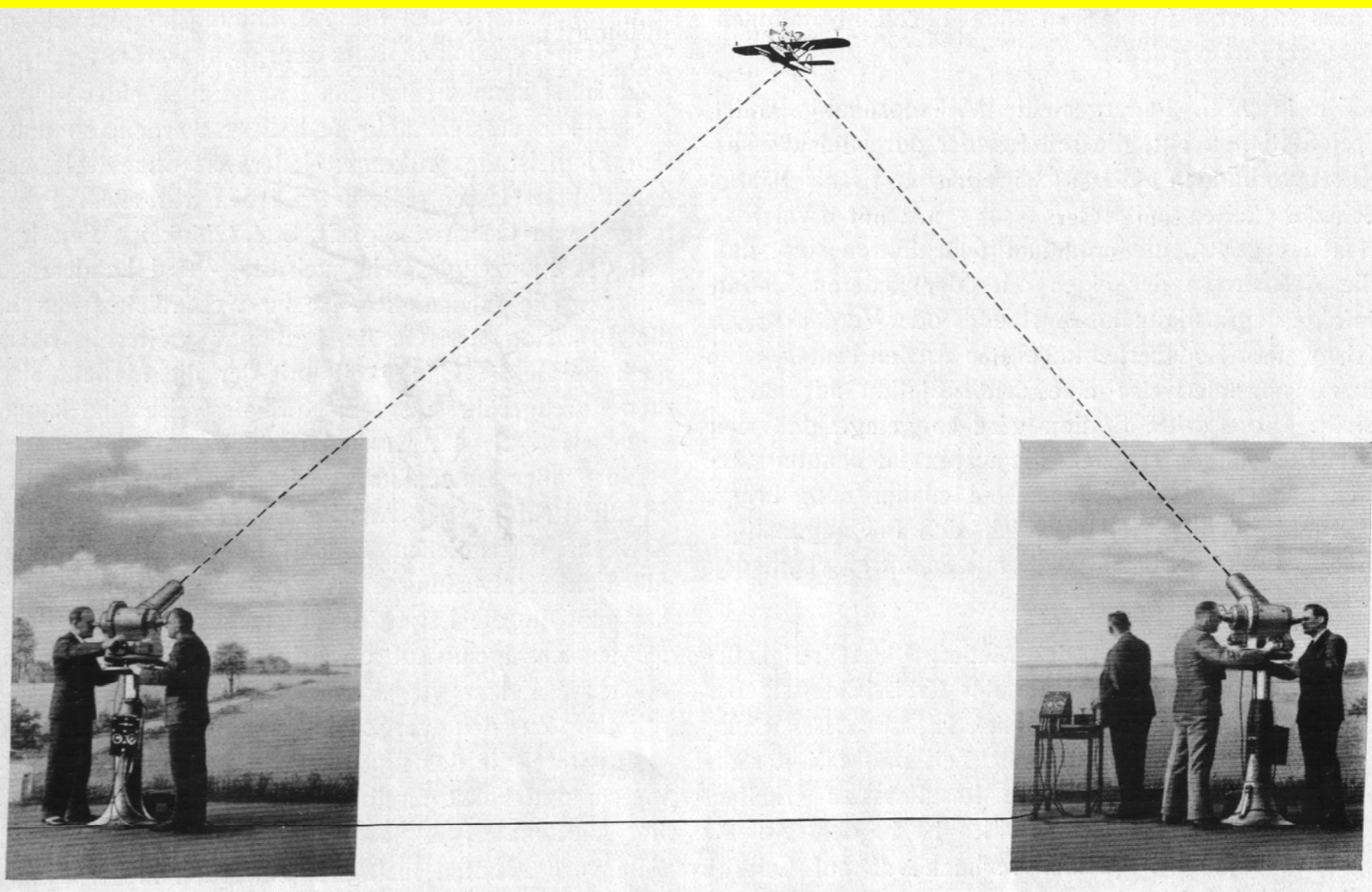
**Askania could also sell it
to a typical niche market**

cine theodolite



- derived from theodolites for weather balloon tracking
- operated by two men, one for tracking direction, the other one tracking elevation
- earlier models used printer for recording values, but too slow for faster airplanes
- cine theodolite uses film, upto 4 pictures per minute
- synchronized pictures by electrical connection to second cine theodolite

airplane tracking by two cine theodolites



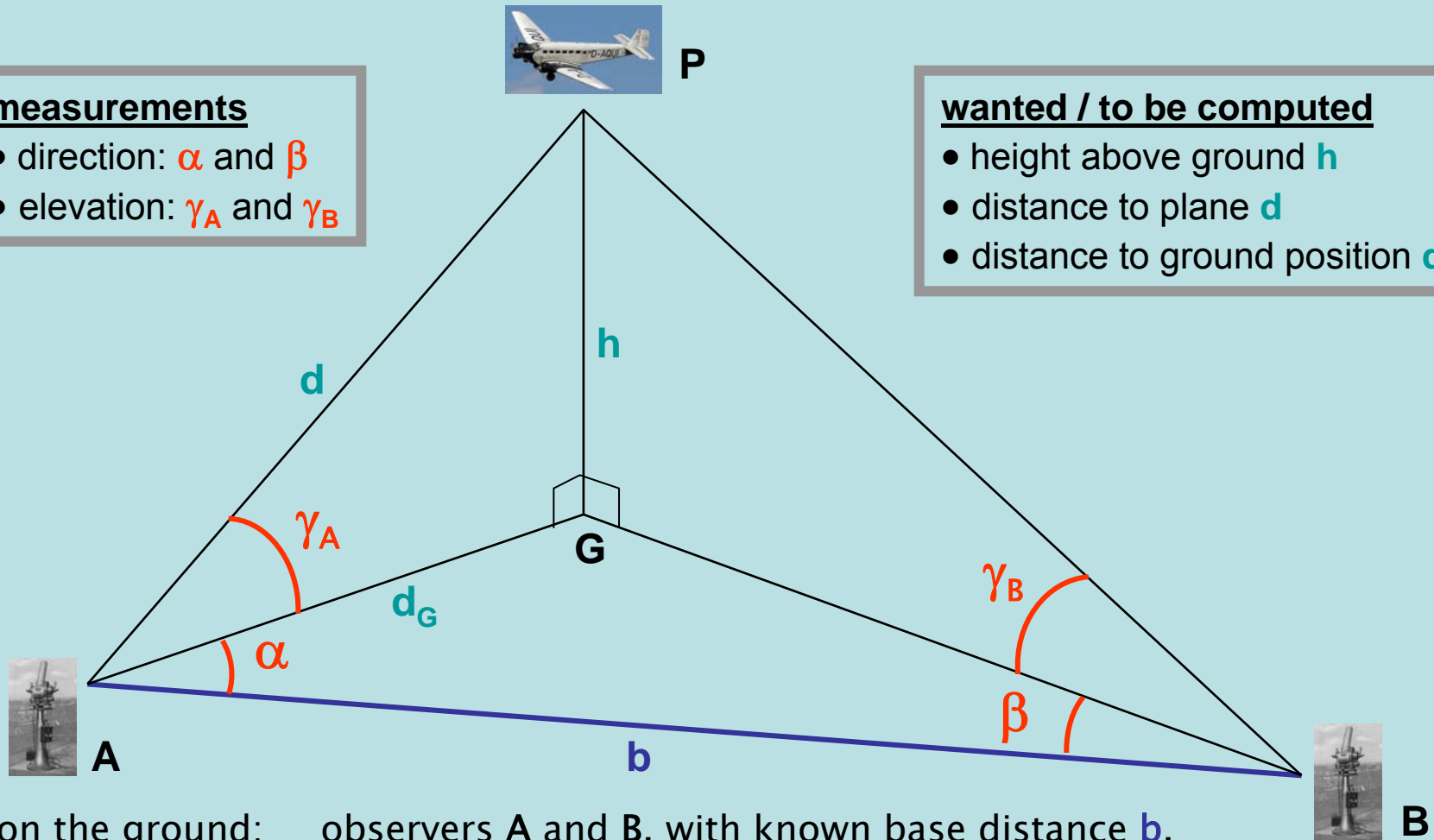
airplane tracking by two cine theodolites

measurements

- direction: α and β
- elevation: γ_A and γ_B

wanted / to be computed

- height above ground h
- distance to plane d
- distance to ground position d_G



on the ground:

observers A and B, with known base distance b ,
ground position G for the airplane

ground is a plane, no elevations, no earth curvature

in the air:

airplane P

proper azimuth coordinate system



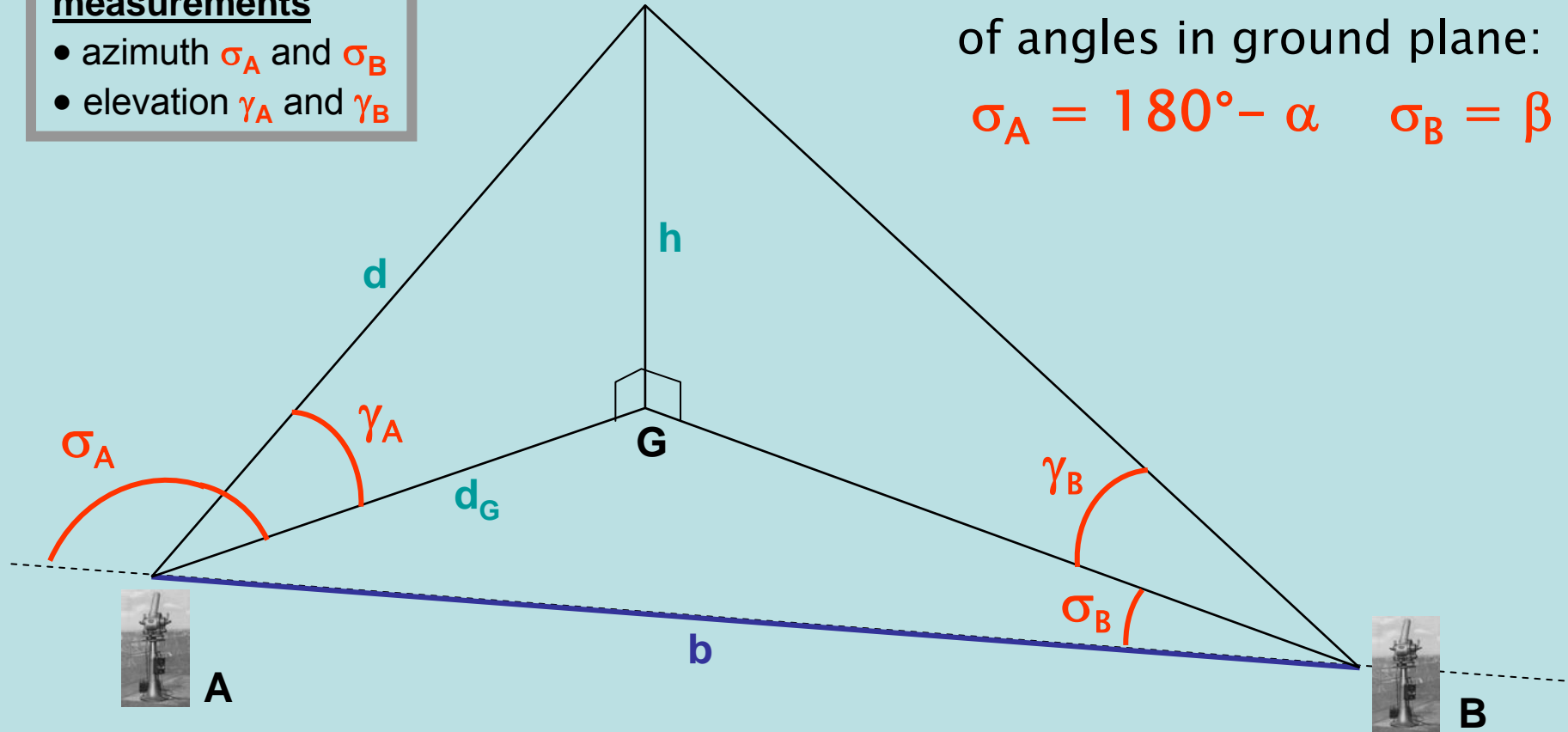
P

measurements

- azimuth σ_A and σ_B
- elevation γ_A and γ_B

correction of orientation of angles in ground plane:

$$\sigma_A = 180^\circ - \alpha \quad \sigma_B = \beta$$



Azimuth_A: length d_G , ground angle σ_A , elevation angle γ_A

it's all triangles!



P

a case for the law of sines!

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}$$

σ_A



A

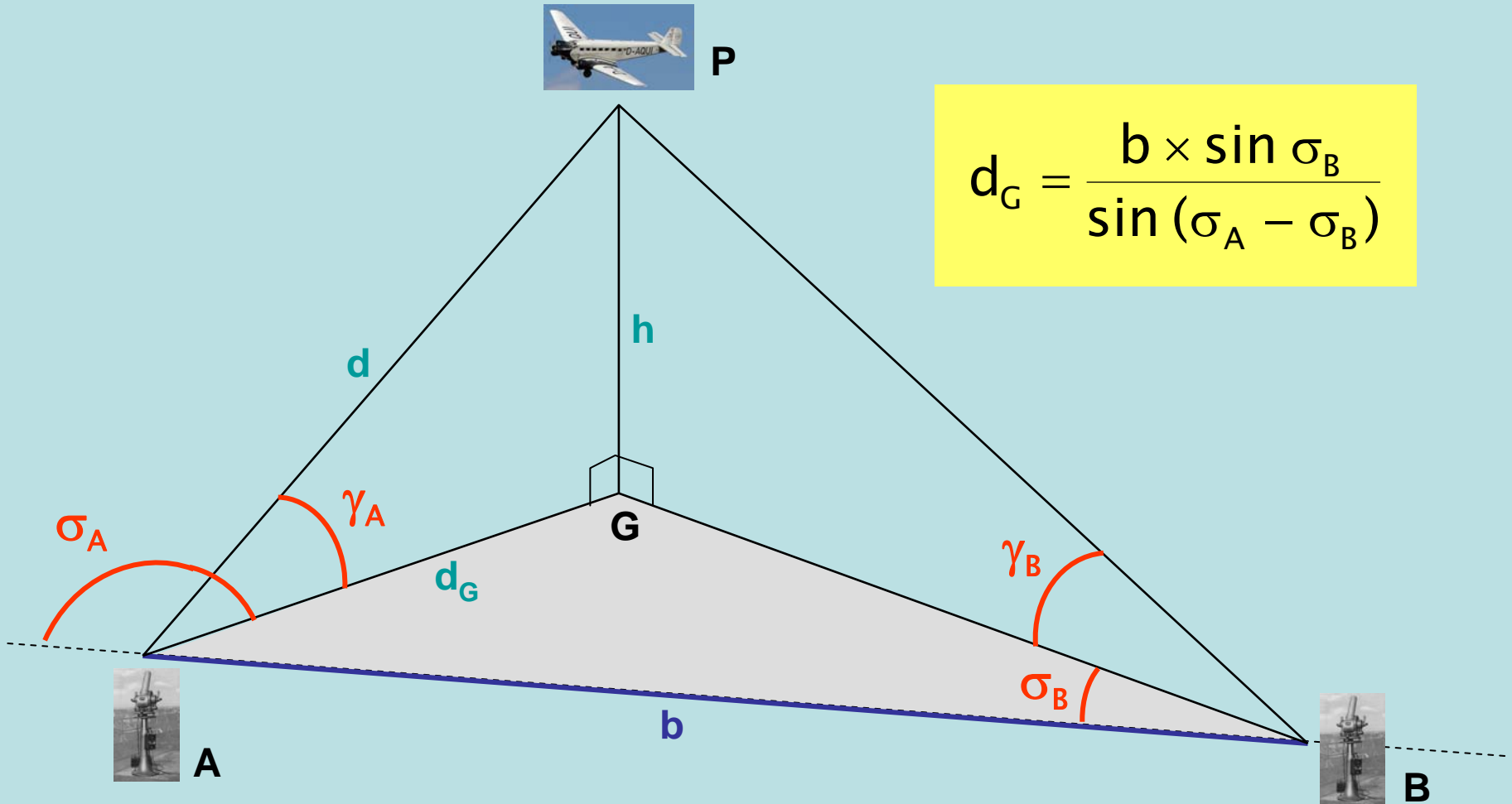
b



B

sample computation: d_G

application of the law of sines: $\frac{d_G}{\sin \sigma_B} = \frac{b}{\sin (\sigma_A - \sigma_B)}$



computation of airplane coordinates

azimuth coordinate system, origin A

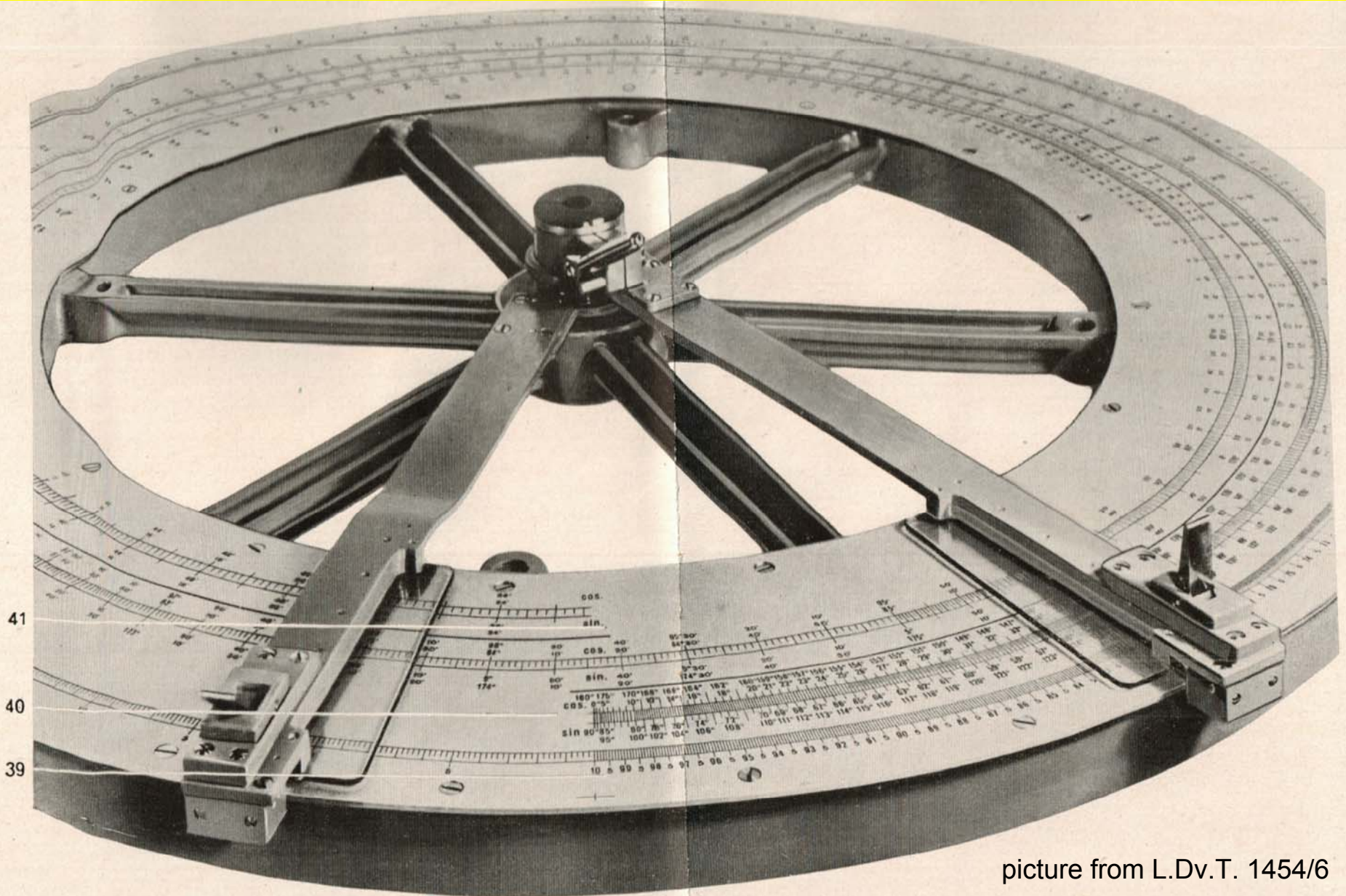
$$d_G = \frac{b \times \sin \sigma_B}{\sin (\sigma_A - \sigma_B)} \quad d = \frac{d_G}{\cos \gamma_A} \quad h = d \times \sin \gamma_A$$

change to cartesian coordinate system, origin A

$$x = d_G \times \cos (180^\circ - \sigma_A) \quad y = d_G \times \sin \sigma_A \quad z = h$$

We only need an arithmetic and a sin/cos scale
on a slide rule / Gunter to compute that!

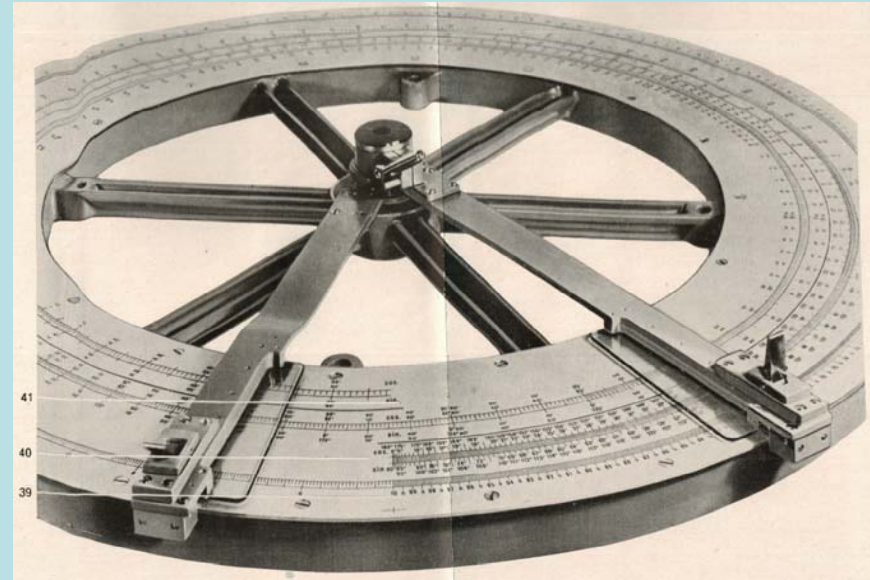
Askania Kreisrechenscheibe



Askania Kreisrechenscheibe

just two scales

- std logarithmic scale, one decade, clockwise
- sin scale as spiral of two windings, dms, range from $0^{\circ}34'60''$ to 90° , four labels for each mark, 2 std sin/cos & 2 sin/cos for 180° complement



two locking mechanism for arms

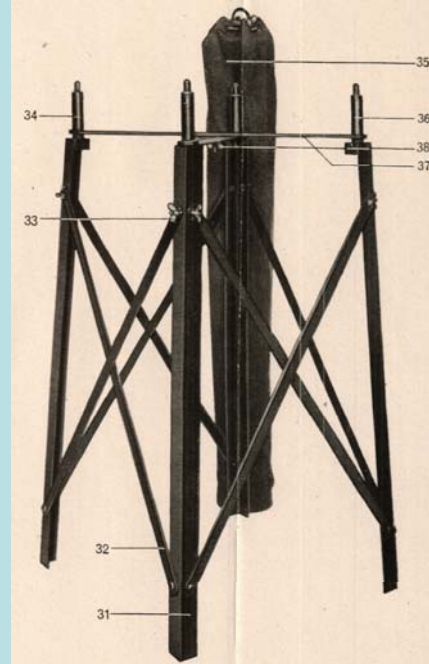
- central lock fixes the angle between the arms
- outer locks fix the position of an arm on the scale

Not a slide rule, but a circular Gunter

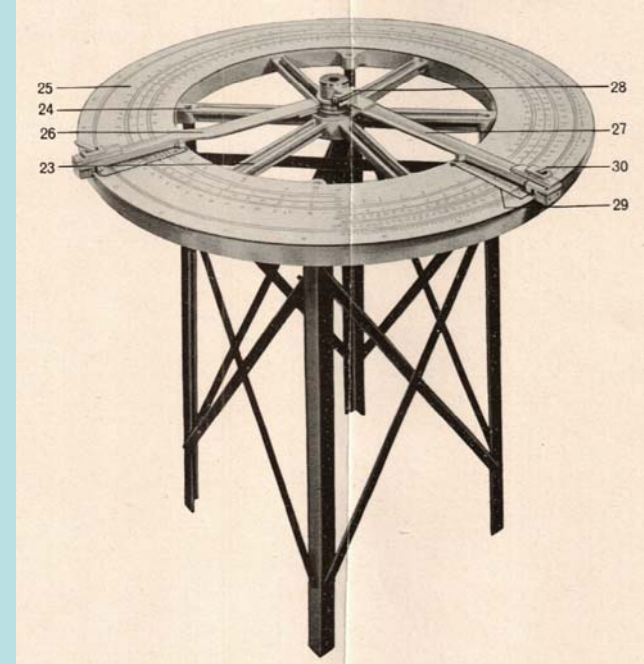
Askania Kreisrechenscheibe



+



=



- diameter of Kreisrechenscheibe 99.7 cm
- transportable, but heavy: disk with arms 35 kg, box 34 kg, bag with foldable frame 23 kg
- to be operated by two men

Askania Kreisrechscheibe

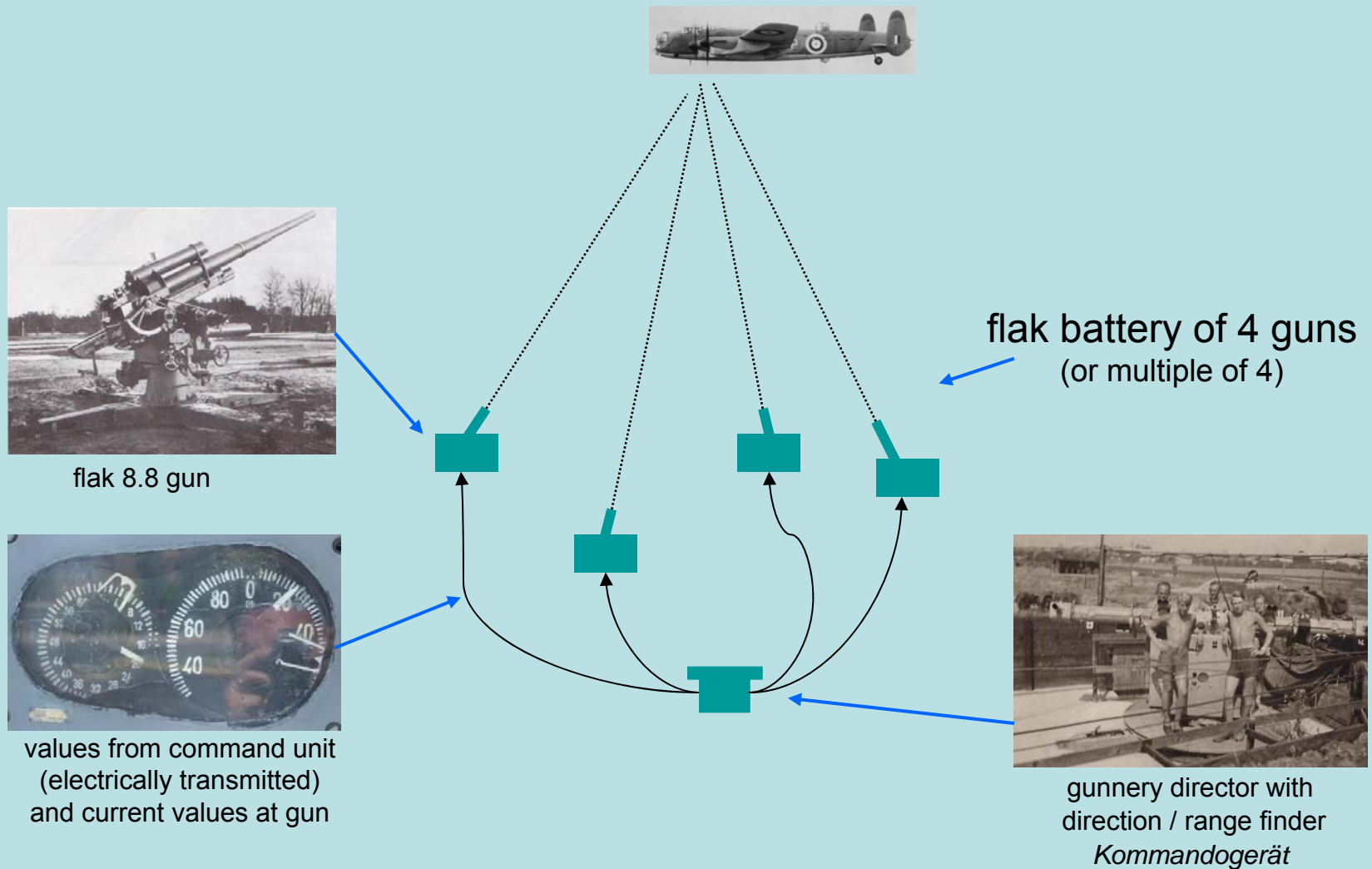
original purpose

- + well fulfilled by cine theodolites for data acquisition and Kreisrechscheibe for computation of flight track
altitude, speed about ground, climb / descention rates, turn rates, characteristica of other flight maneuvers
- + works well because of planned flights
- + no real-time reaction on the ground, just recording
- but only few devices needed for Askania's own business and for aircraft development / evaluation

military use / air defense

totally useless for anti-aircraft gunnery

anti-aircraft gunnery



heavy flak battery of the German army

anti-aircraft gunnery

Wellington bomber of the RAF and flak grenade exploding nearby but not close enough to cause damages



Flak grenades are time triggered. The goal is damage by shrapnel and blast of the explosion, not by hitting the plane.



Lancasters flying through a flak barrage.

success needs training



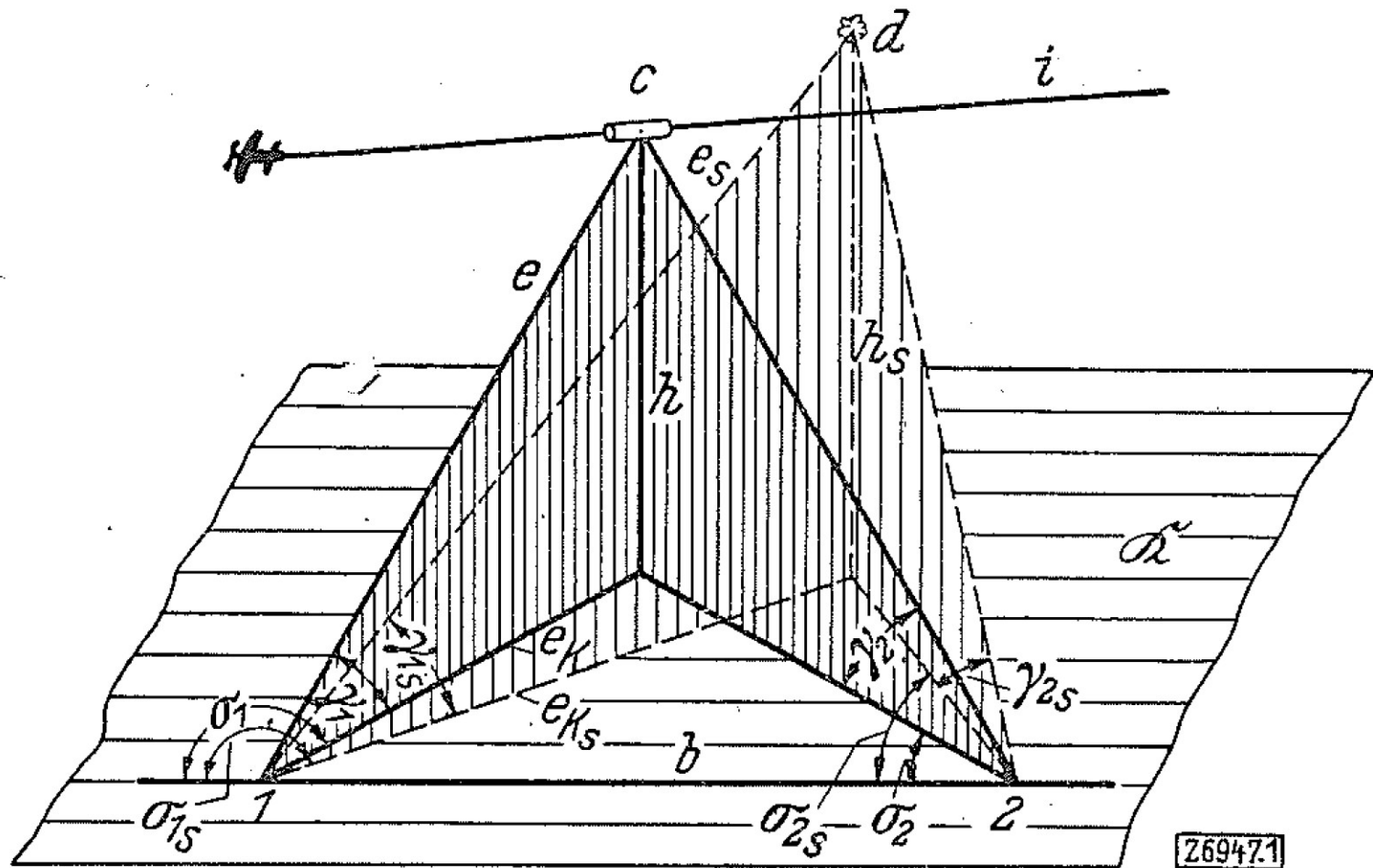
training needs a target



airplane ————— a looooong line ————— windsock

proper training
implies evaluation

same task as before, but two targets

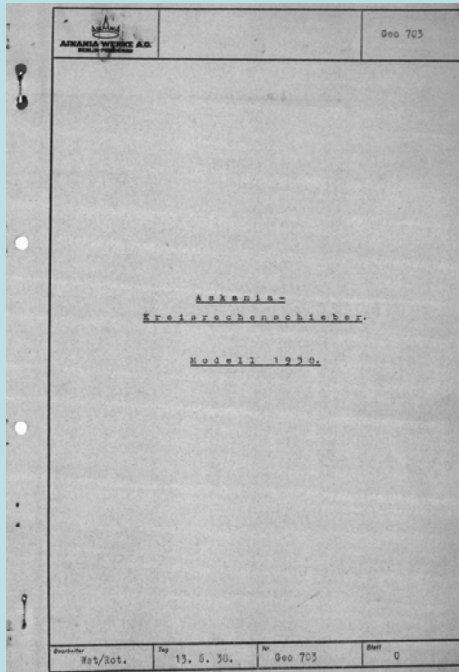


track of airplane (windsock) and detonation point

using the Askania setup

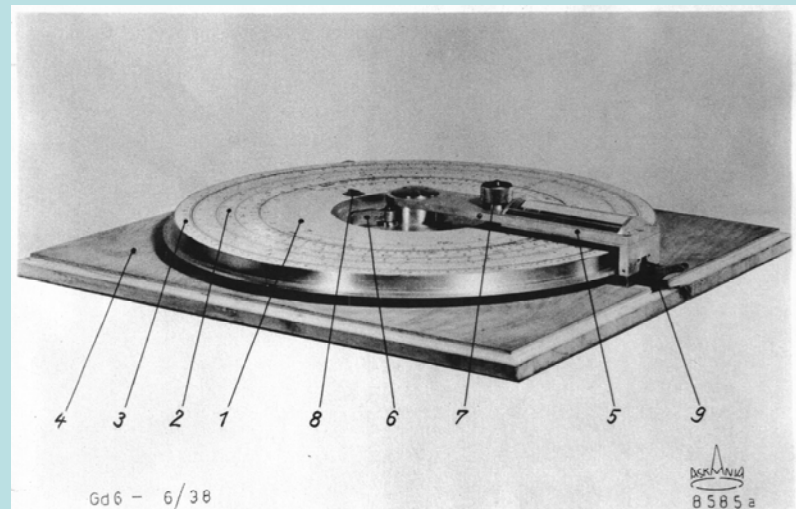
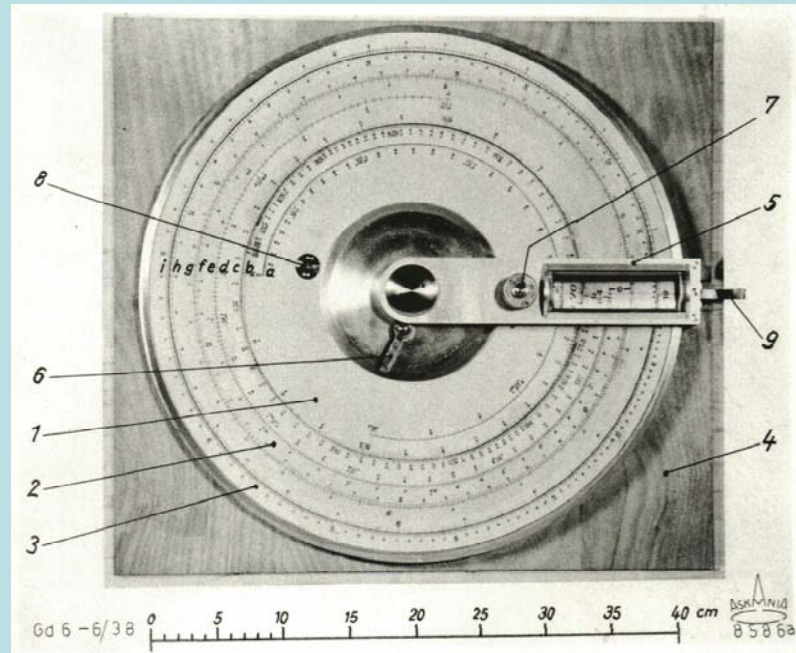
- photo from cine theodolite offers direction and elevation angles for both windsock and explosion
- coordinate values can be computed for both
- Askania Kreisrechenschieber available
- Gunter inconvenient in chain computations
- shortcut possible with tan function
- slide rule wanted by RLM as replacement for the Kreisrechenscheibe as all-in-one-solution

prototype Askania Kreisrechenschieber 38

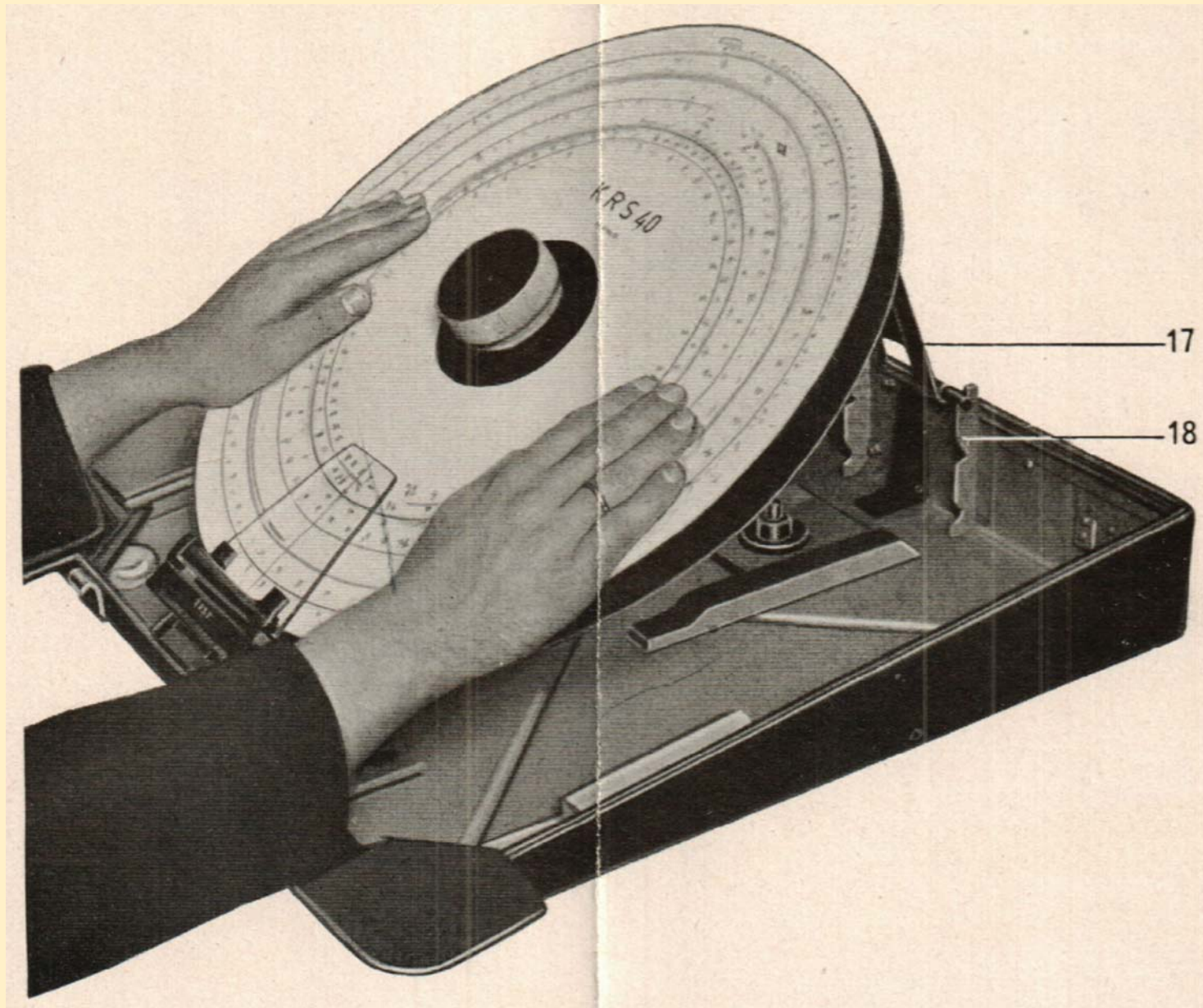


datasheet, june 1938
8 typewritten pages,
with two photos glued in

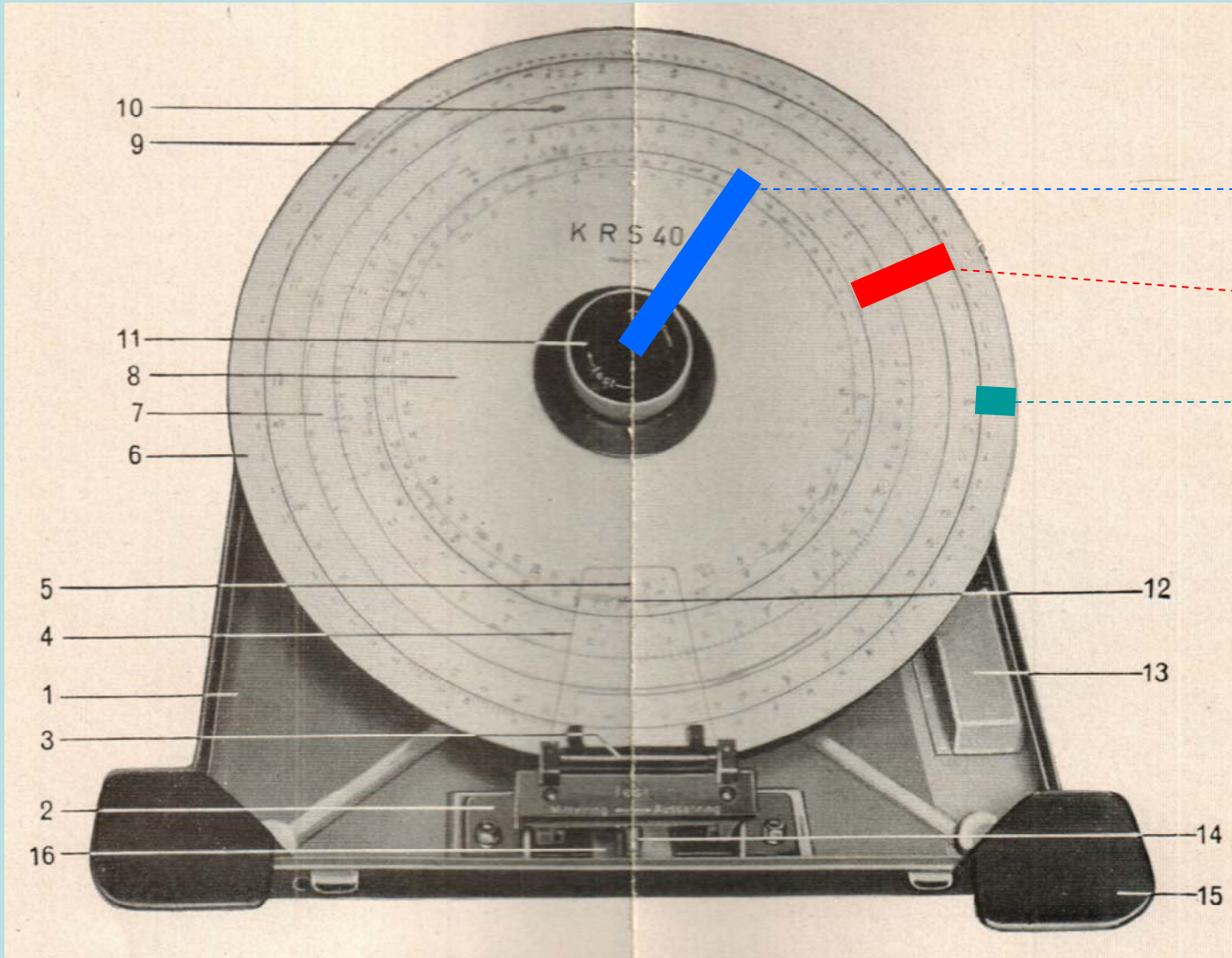
found in D&P company archive
now kept in the archives of
Deutsches Museum, Munich



Dennert & Pape (gwr) KRS 40



KRS 40 – the three disks / rings



3 rings/disks

inner disk

middle ring

outer ring

diameters

28 / 40 / 45

professional designers
at work: small details
improve usability:
forearm rests

inverted design



Aristo 203 Scholar
projection slide rule for the classroom
mounted on Leitz Prado slide projector



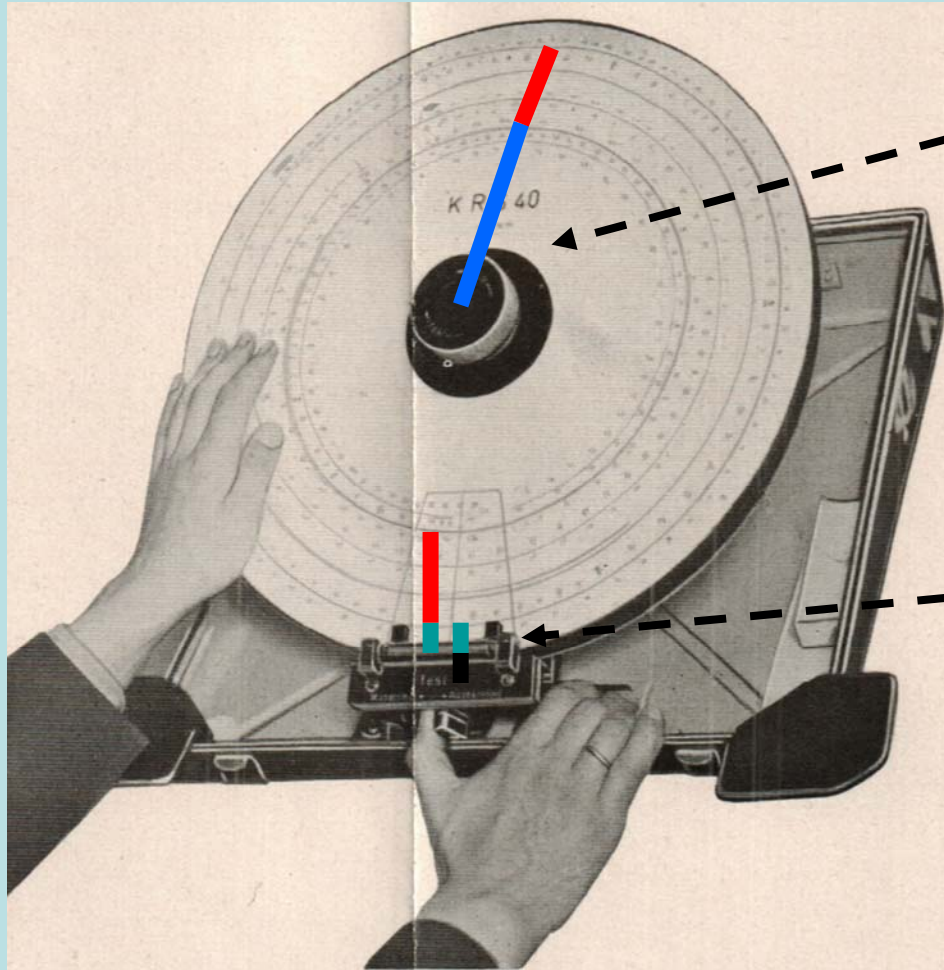
normal slide rule

- stator fix
- slide movable relative to stator
- cursor movable to stator

inverted design slide rule

- cursor fix
- stator movable relative to cursor
- slide movable relative to stator

KRS 40 disk / ring locking



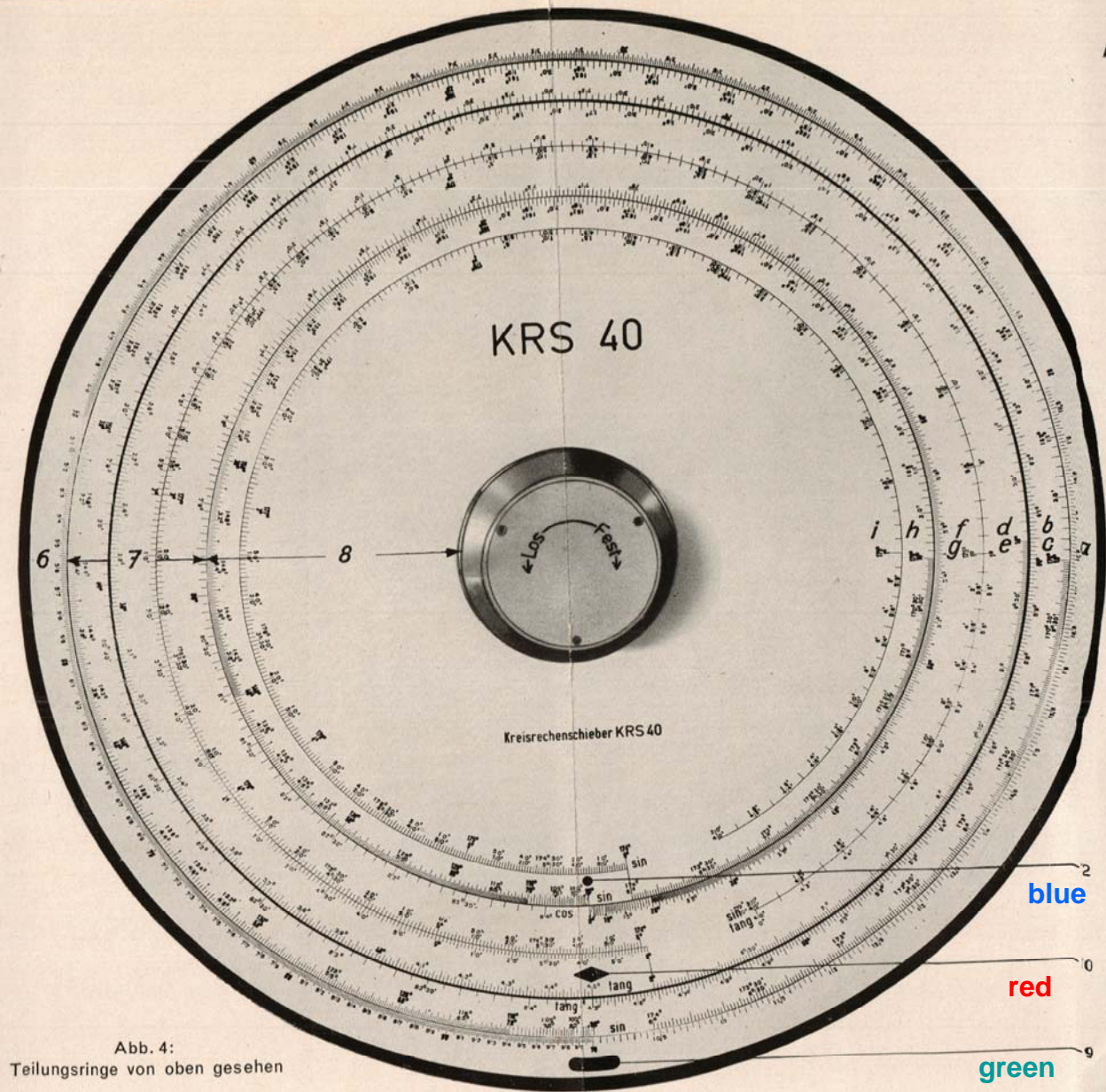
- central knob

locking the inner disk
to the middle ring

- lever at cursor

locking the outer ring
containing the arithmetic
scale with base / cursor
or with middle ring

KRS 40 - the scales



outer ring

a std arithmetic scale, one decade

middle ring

b $\sin 6^\circ - 174^\circ$

c $\tan 45^\circ - 84^\circ$

d $\tan 6^\circ - 45^\circ$

e $\tan 0^\circ 40' - 6^\circ$

f $\sin 0^\circ 40' - 6^\circ$ and $174^\circ - 179^\circ 20'$

g $\cos 0^\circ - 84^\circ$

inner disk

h $\sin 6^\circ - 174^\circ$

i $\sin 0^\circ 40' - 6^\circ$ and $174^\circ - 179^\circ 20'$

scales run counterclockwise
due to inverted design, so that
scales read at cursor left→right

blue

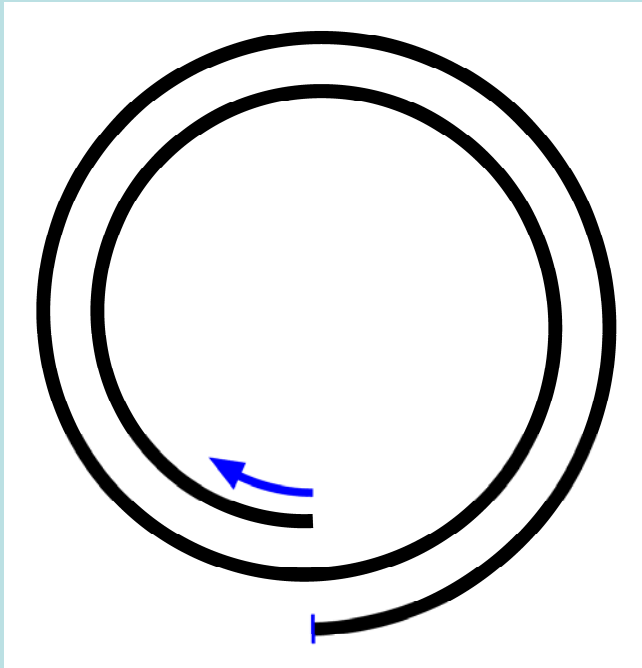
red

green

Abb. 4:

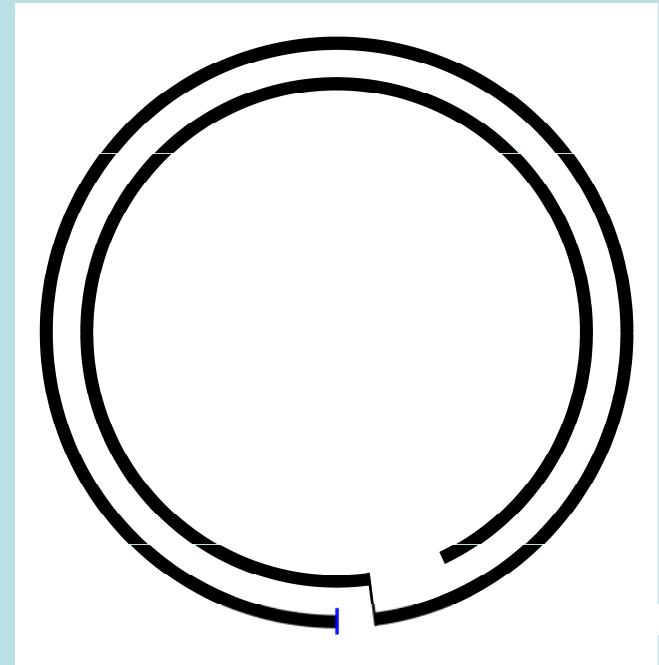
Teilungsringe von oben gesehen

long sin scale - two windings



Askania Kreisrechenscheibe

standard spiral



D&P KRS40

concentric spiral

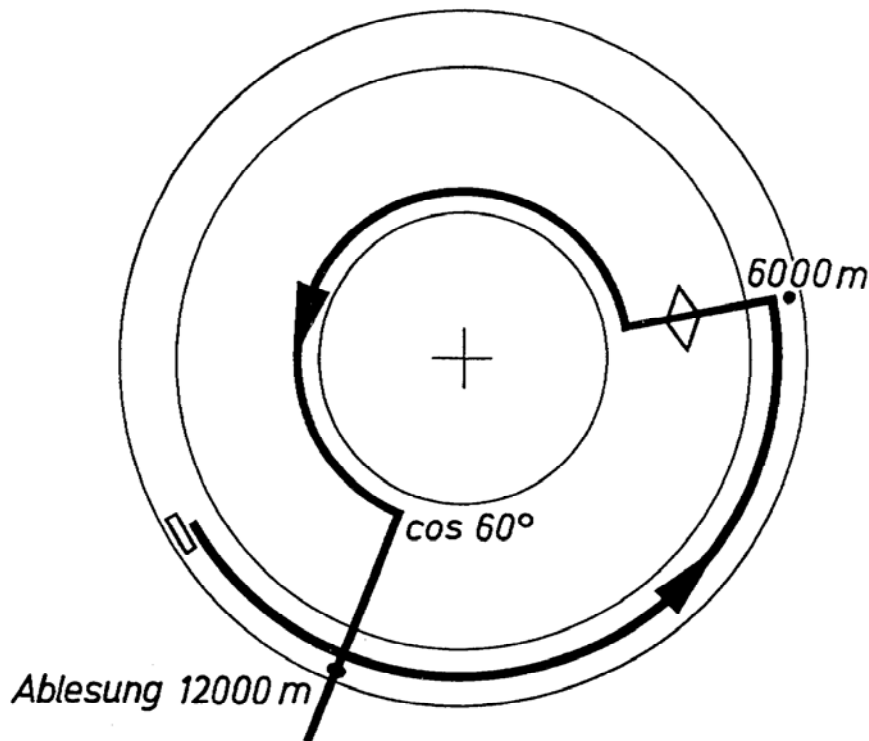
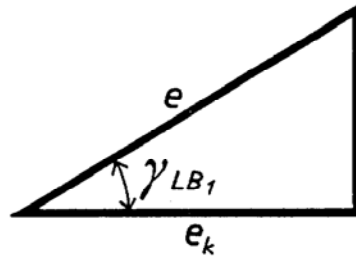
KRS 40 simple usage diagram

$$e = \frac{e_k}{\cos \gamma_{LB_1}}$$

Beispiel:

$$e_k = 6000 \text{ m}; \gamma_{LB_1} = 60^\circ$$

$$e = \frac{6000}{0,5} = \underline{12000 \text{ m}}$$



With such simple schemes the KRS40 could be used just like an Askania Kreisrechenscheibe!

Never underestimate compatibility issues!

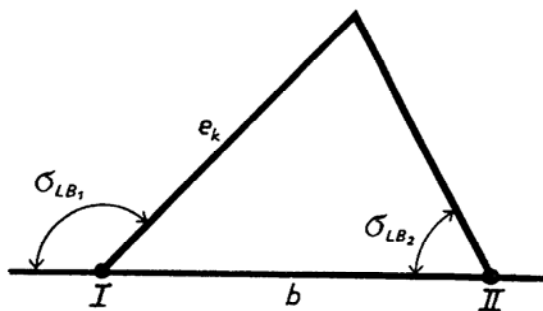
PS: Beware the schematic drawings and the angles therein; they do not reflect the sample values.

KRS40 usage scheme, all in one setting

$$e_k = \frac{b \cdot \sin \sigma_{LB_2}}{\sin(\sigma_{LB_1} - \sigma_{LB_2})}$$

$$e = \frac{e_k}{\cos \gamma_{LB_1}}$$

$$h = e_k \cdot \operatorname{tg} \gamma_{LB_1}$$



$$e_k = \frac{3112 \cdot 0,8295}{0,4281} = \underline{6011 \text{ m}}$$

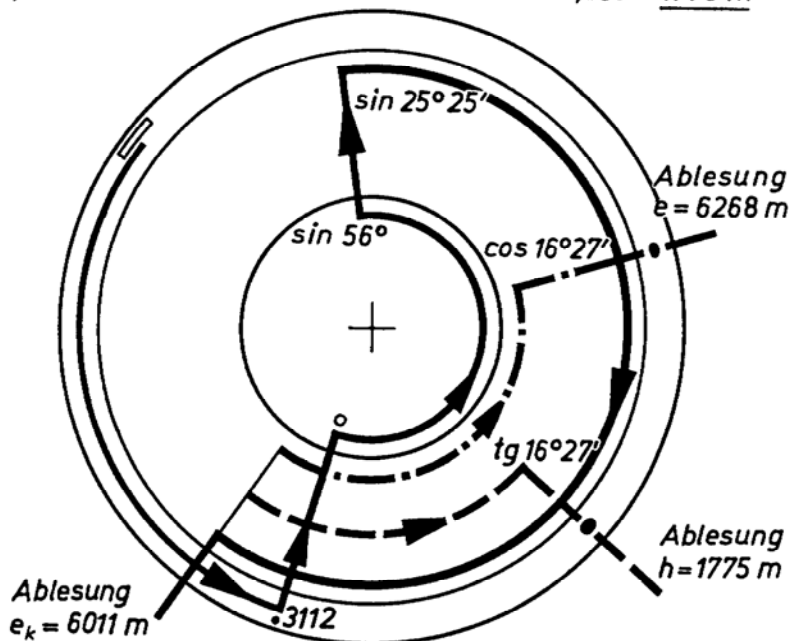
$$e = \frac{6011}{0,9600} = \underline{6268 \text{ m}}$$

$$h = 6011 \cdot 0,295 = \underline{1775 \text{ m}}$$

Beispiel:

$b = 3112 \text{ m}$; $\sigma_{LB_1} = 81^\circ 25'$;
 $\sigma_{LB_2} = 56^\circ$; $\sigma_{LB_1} - \sigma_{LB_2} = 25^\circ 25'$;
 $\gamma_{LB_1} = 16^\circ 27'$

scheme for the full use of the three rings / disk. You just compose their relative setting, lock them together and read the three results in the end.



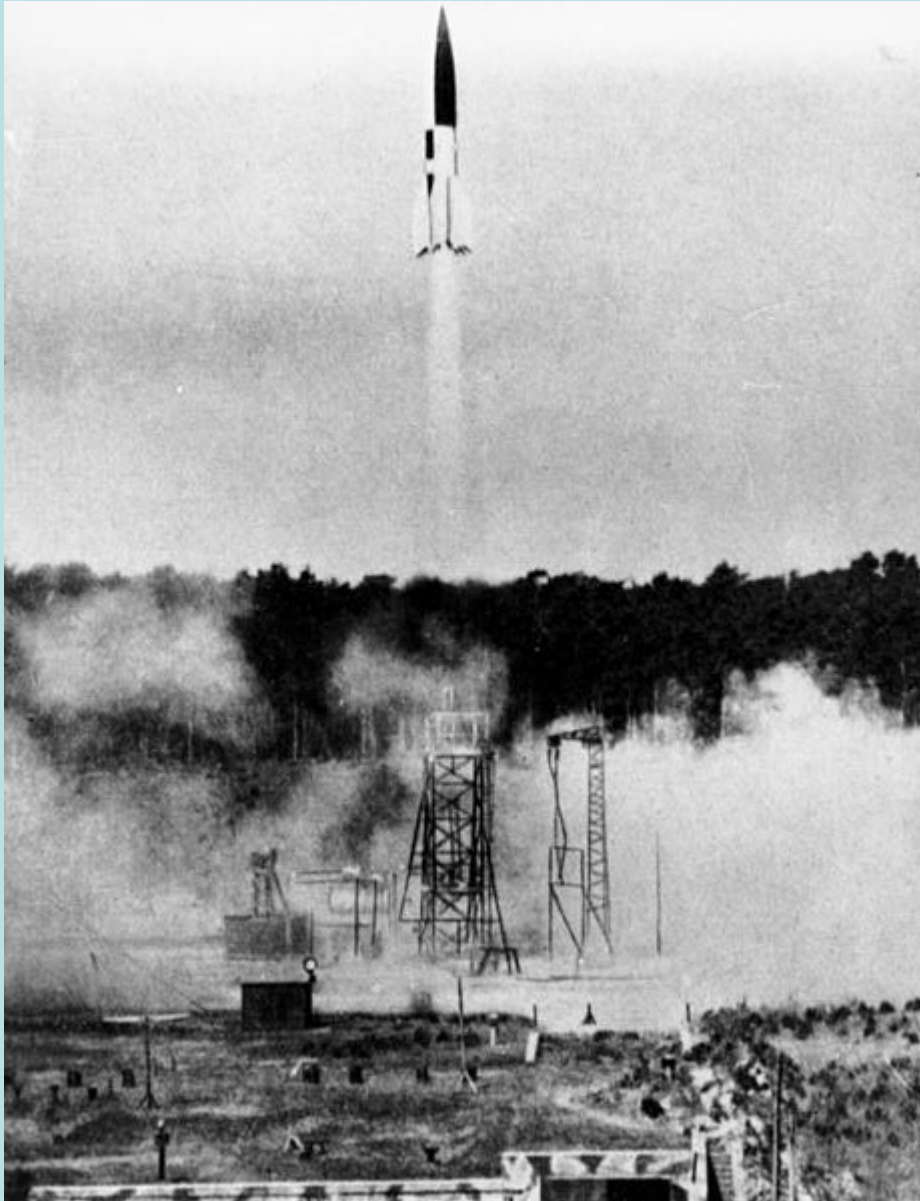
examples from D&P KRS40 instructions, which were copied 1:1 to LDvT 1454/6

how many KRS 40 were built?

year	KRS 40	destination
1940–43	23	evaluation / special models, Peenemünde
1942	285	
1943	302	
1944	90	army / air force
1945	22	
total	722	

data from D&P archive in Deutsches Museum, München

special models



unfortunately, **nothing** is known about special models of the KRS 40, particular those for Peenemünde, except that there were some according to production lists

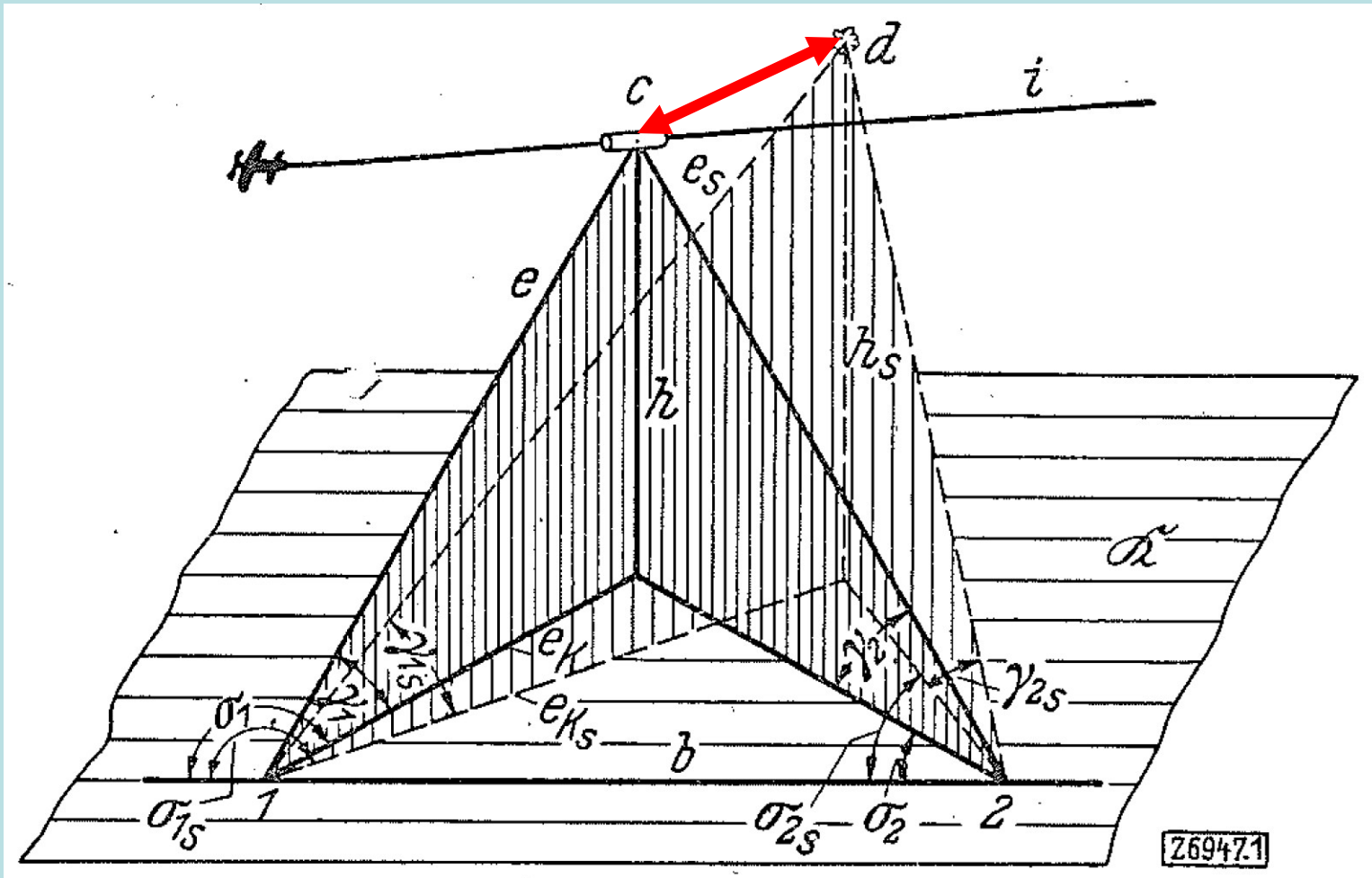
variations



- magnifying cursor
- wooden box instead of metal field box



now we only need the distance target to detonation



flak crew evaluation: four step process

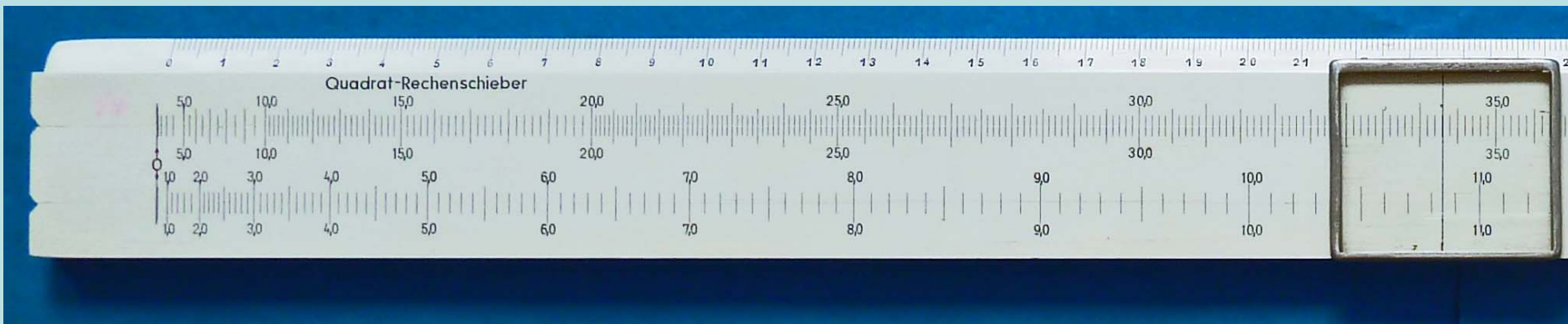
- shooting simulated enemy airplane
→ data acquisition by cine theodolites
- computing of coordinates of target and detonation
→ **KRS 40**
- computing of distances target to detonation
→ **QR 41**
- statistical evaluation / grading of crew
[not our subject here]

D&P QR 41 Quadrat-Rechenschieber



from web page of David Rance

- two pairs of scales, independent from from other
- same scale on stator and slide for each pair
- non-logarithmic scales
- scales are quadratic: numbers shown stand for square root values
- scale length 50 cm



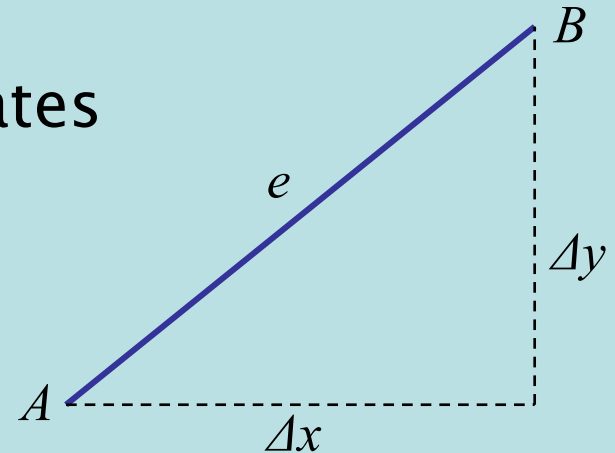
Pythagoras is your friend

everybody knows:

$$a^2 + b^2 = c^2$$

most important / most used for:
distance in 2D for cartesian coordinates

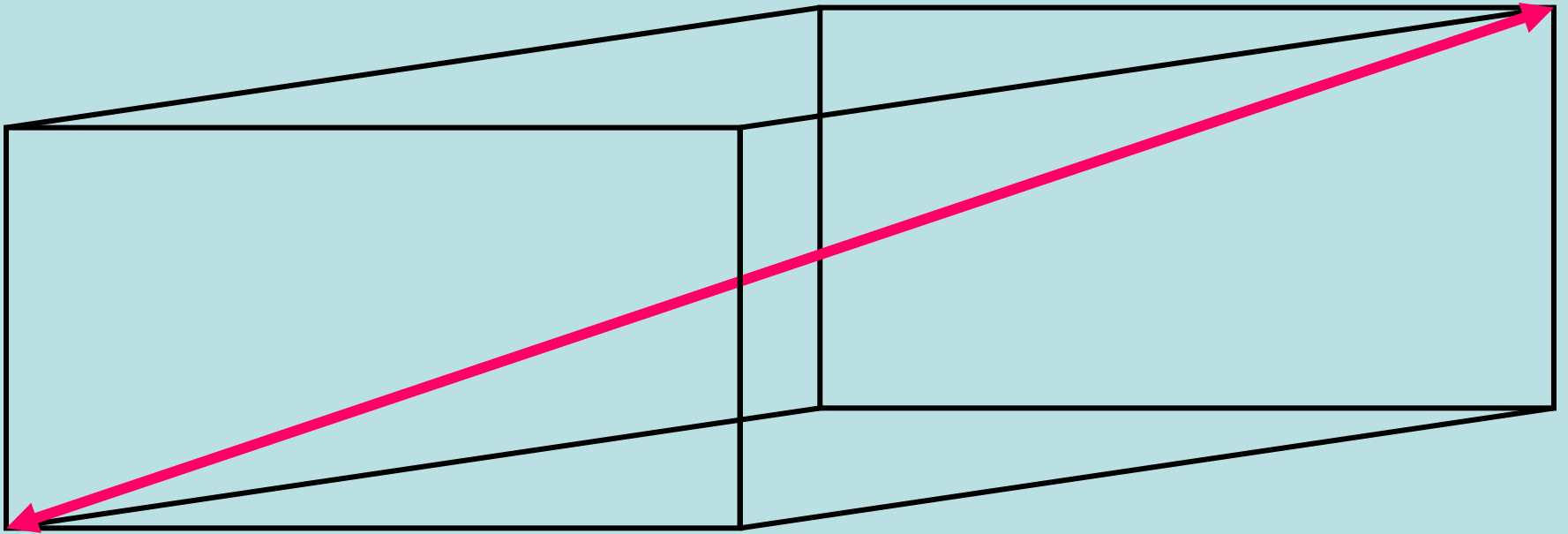
$$e = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$



generalization: distance in n D space, especially 3D

$$e = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

length of the diagonal



$$e = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

preliminary remarks on using the QR 41

mental traps for slide rule users

- type of scales: quadratic, not logarithmic → zero!
- role of cursor on logarithmic slide rules
 - connection between scales
 - scale reading aid, in particular for magnifying cursors
- role of cursor on QR 41
 - marker for (partial) sum of squares, also reading aid
- no relation between upper and lower pairs of scales, just different ranges for distances, 0–15.8 & 0–50



QR 41 algorithm

$$e = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

1. set zero of slide to first value (Δx) on stator
2. move cursor to second value (Δy) on slide
3. move zero of slide to cursor position
4. move cursor to third value (Δz) on slide
5. read result on stator under cursor position

QR 41 example

$$e = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad \text{values: } 4 \ 6 \ 8$$

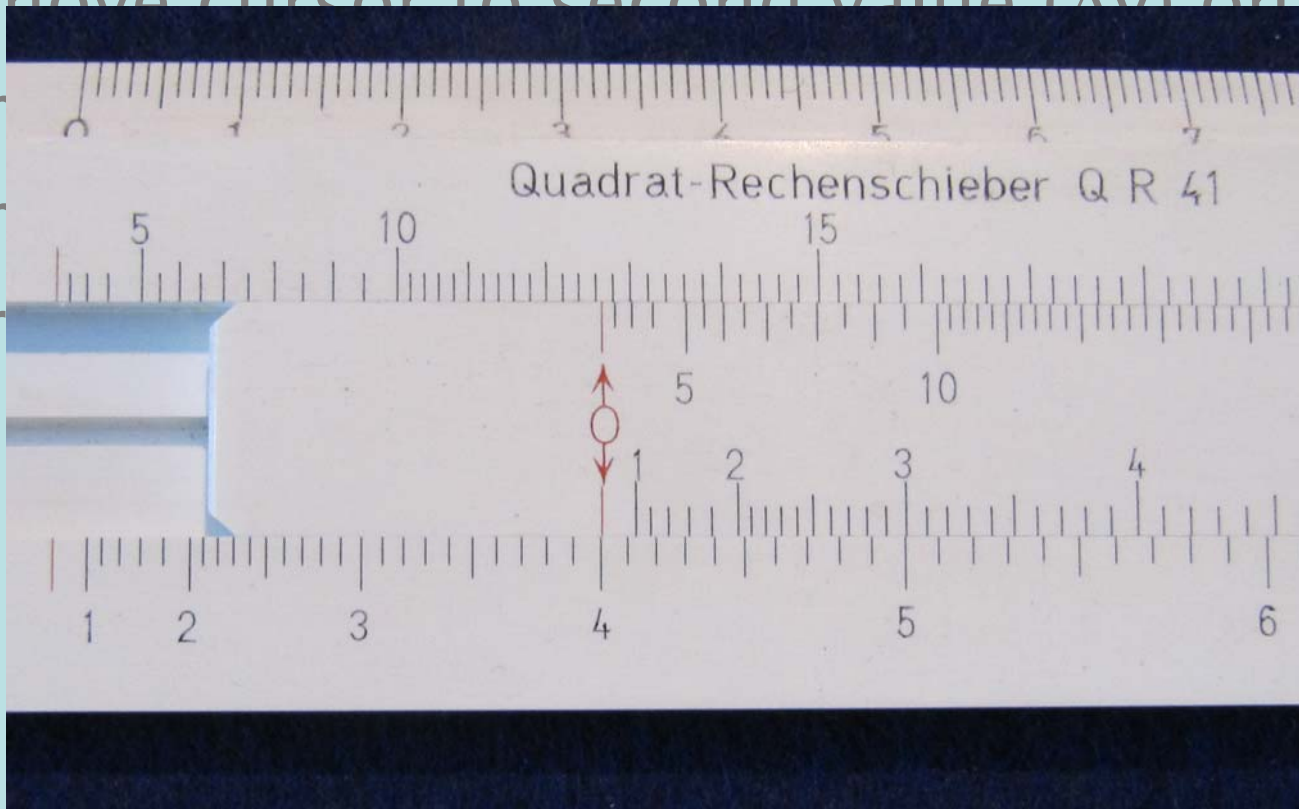
1. set zero of slide to first value (Δx) on stator

2. move cursor to second value (Δy) on slide

3. read value on stator

4. read value on slide

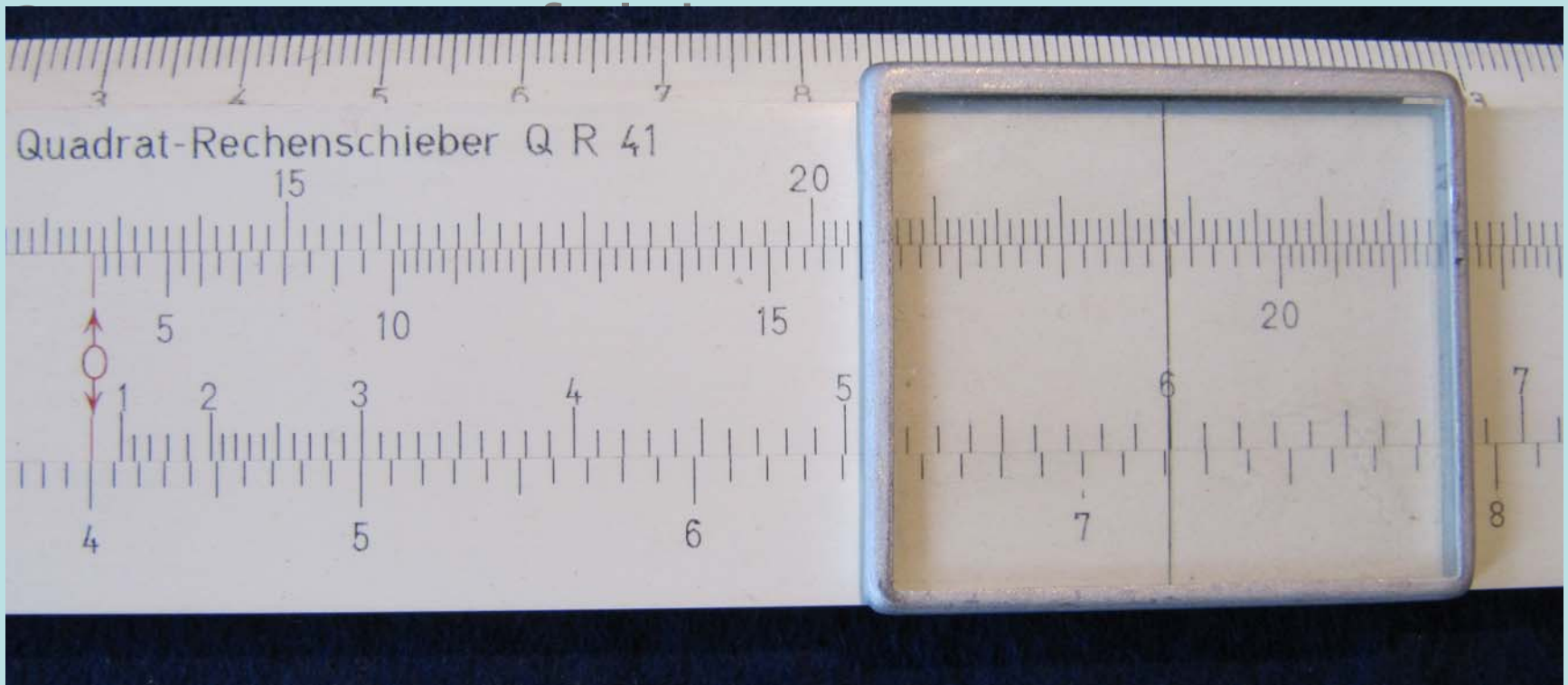
5. read value on stator



QR 41 example

$$e = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad \text{values: } 4 \quad \mathbf{6} \quad 8$$

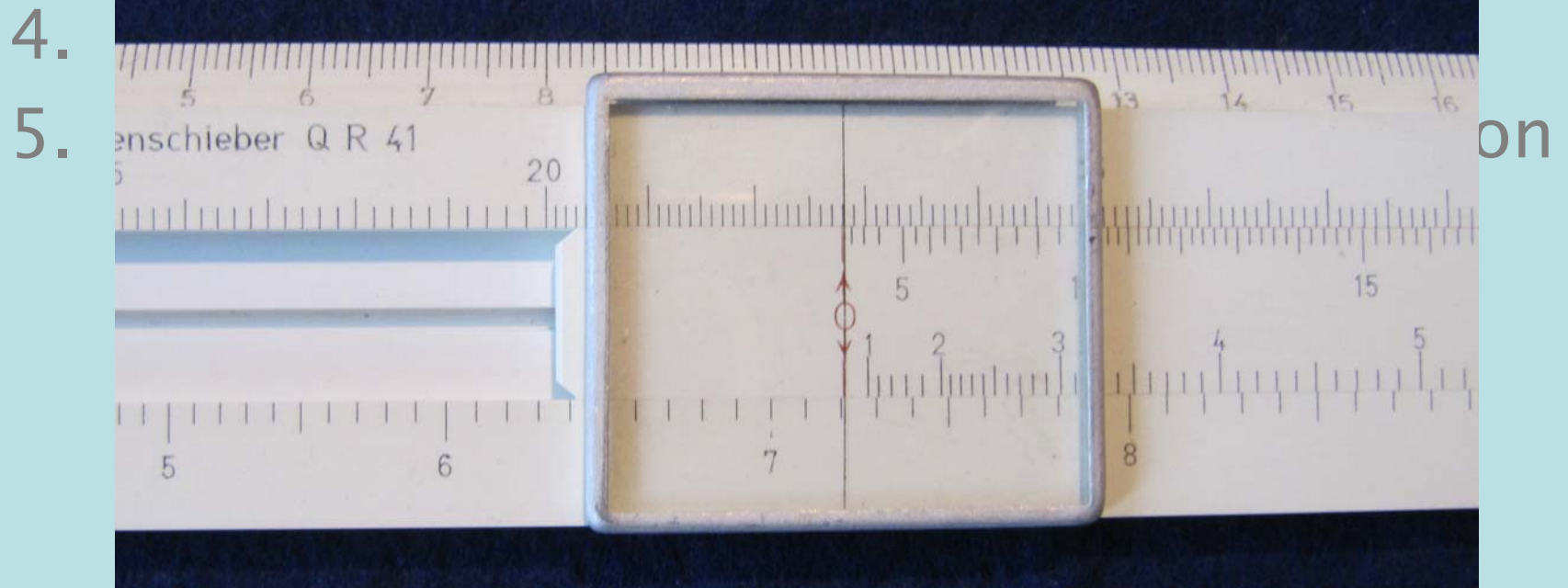
1. set zero of slide to first value (Δx) on stator
2. **move cursor to second value (Δy) on slide**



QR 41 example

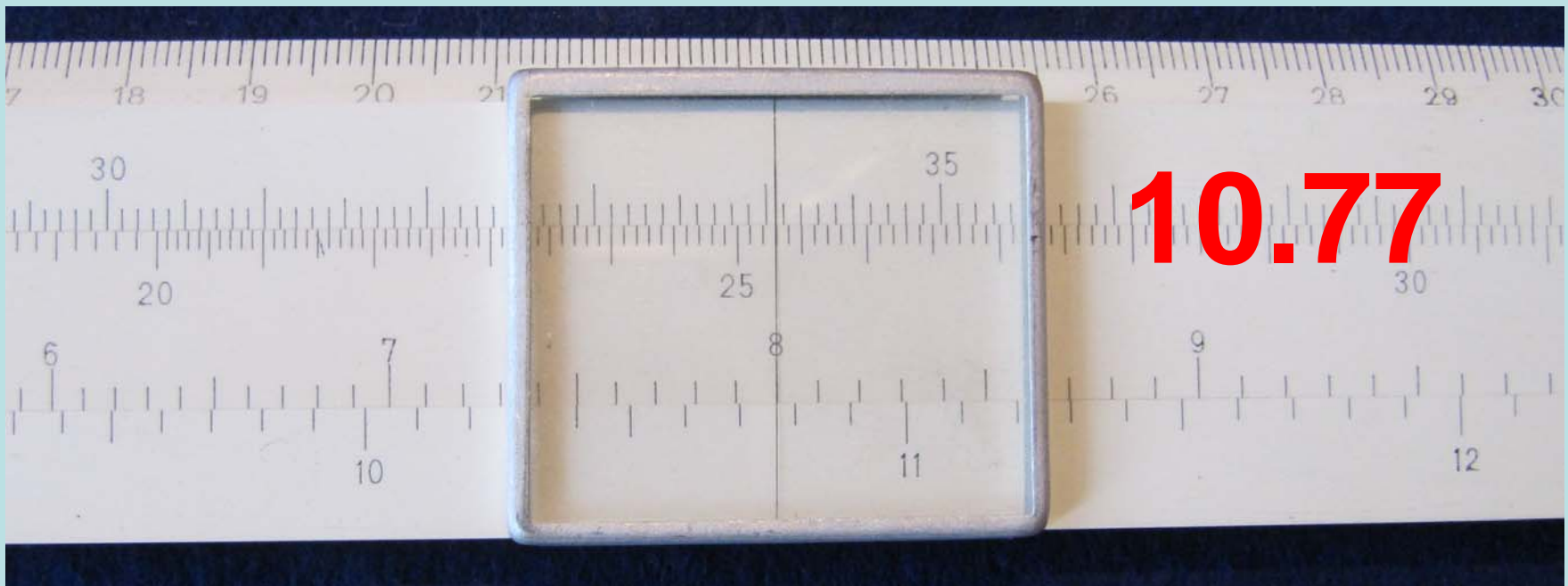
$$e = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2} \quad \text{values: } 4 \quad \mathbf{6} \quad 8$$

1. set zero of slide to first value (Δx) on stator
2. move cursor to second value (Δy) on slide
3. **move zero of slide to cursor position**

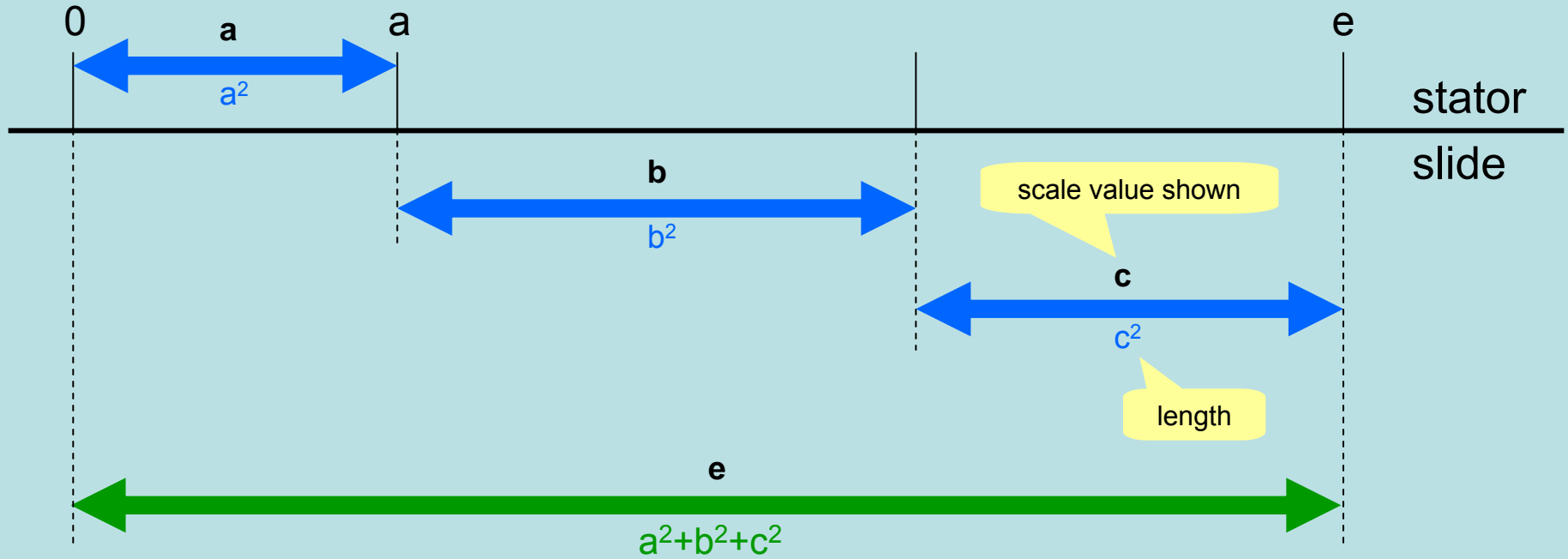


QR 41 example

- $e = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$ values: 4 6 **8**
1. set zero of slide to first value (Δx) on stator
 2. move cursor to second value (Δy) on slide
 3. move zero of slide to cursor position
 4. move cursor to third value (Δz) on slide
 5. read result on stator under cursor position

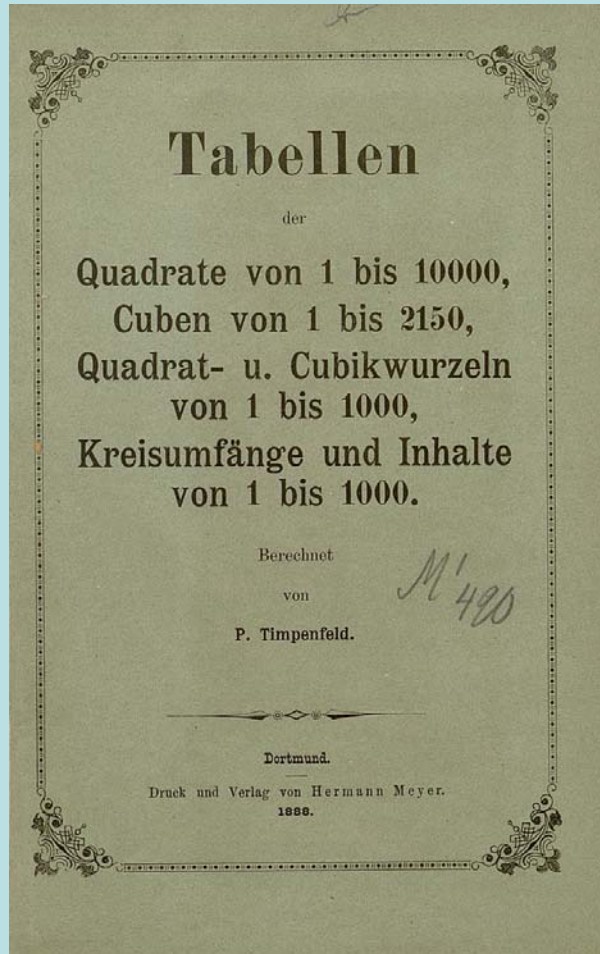


visualizing the computation



$$e = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$$

how was that done before? tables



- 9 -

n	n ²	n	n ²	n	n ²	n	n ²
241	58081	271	73441	301	90601	331	109561
242	58564	272	73984	302	91204	332	110224
243	59049	273	74529	303	91809	333	110889
244	59536	274	75076	304	92416	334	111556
245	60025	275	75625	305	93025	335	112225
246	60516	276	76176	306	93636	336	112896
247	61009	277	76729	307	94249	337	113569
248	61504	278	77284	308	94864	338	114244
249	62001	279	77841	309	95481	339	114921
250	62500	280	78400	310	96100	340	115600
251	63001	281	78961	311	96721	341	116281
252	63504	282	79524	312	97344	342	116964
253	64009	283	80089	313	97969	343	117649
254	64516	284	80656	314	98596	344	118336
255	65025	285	81225	315	99225	345	119025
256	65536	286	81796	316	99856	346	119716
257	66049	287	82369	317	100489	347	120409
258	66564	288	82944	318	101124	348	121104
259	67081	289	83521	319	101761	349	121801
260	67600	290	84100	320	102400	350	122500
261	68121	291	84681	321	103041	351	123201
262	68644	292	85264	322	103684	352	123904
263	69169	293	85849	323	104329	353	124609
264	69696	294	86436	324	104976	354	125316
265	70225	295	87025	325	105625	355	126025
266	70756	296	87616	326	106276	356	126736
267	71289	297	88209	327	106929	357	127449
268	71824	298	88804	328	107584	358	128164
269	72361	299	89401	329	108241	359	128881
270	72900	300	90000	330	108900	360	129600

241 bis 360.

2

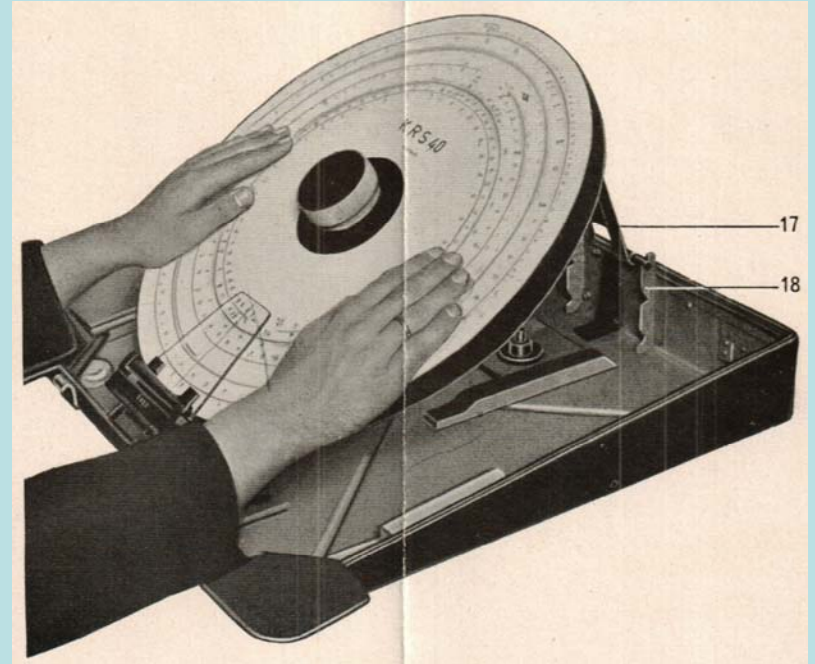
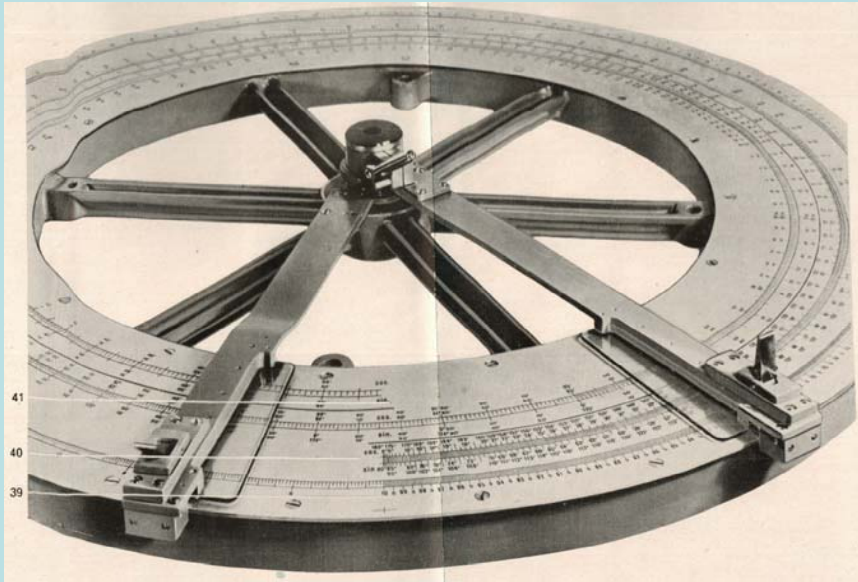
advantage QR 41 over tables / manual work

- simple
- quick
- lower error rate
- sufficiently accurate
- easy additionally non-integer values
- less problematic than printed tables in the field (wear and dirt)

final remarks

1. You must see it with your own eyes!
2. Be / remain sceptical,
also when reading respected literature.
3. Do not expect quick results.
4. Know your literature and your sources.
5. Learn about the subject area, where the
slide rule / instrument is used, the lingo
and its professional standards.
6. Enjoy and share your findings!

the end



Karl Kleine
karl.kleine@eah-jena.de

virtual IM 2020
september 13, 2020