



Presented at the FIG Working Week 2023,
28 May - 1 June 2023 in Orlando, Florida, USA

FIG WORKING WEEK 2023

28 May - 1 June 2023 Orlando Florida USA

Protecting
Our World,
Conquering
New Frontiers

The Validation of Geodetic Measurements

Rudolf Staiger



German Association for Geodesy,
Geoinformation and Land Management



Organized By



Diamond Sponsors



Content

Introduction & Motivation

what is validation?

the difference between validation and calibration ?

The validation of tacheometric measurements

- the design
- the implementation
- results and lessons learned

Summary

vocabulary- quality of measurements

resolution



The smallest increment an instrument can detect and display

... 123,456 m
123,457 m
123,458 m

**repeatability
precision**



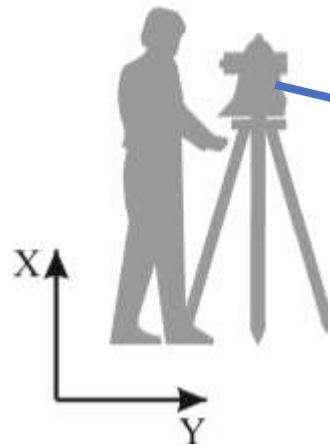
... the capability of repeating measurements under defined conditions

$$\sigma = 1,2\text{mm}$$

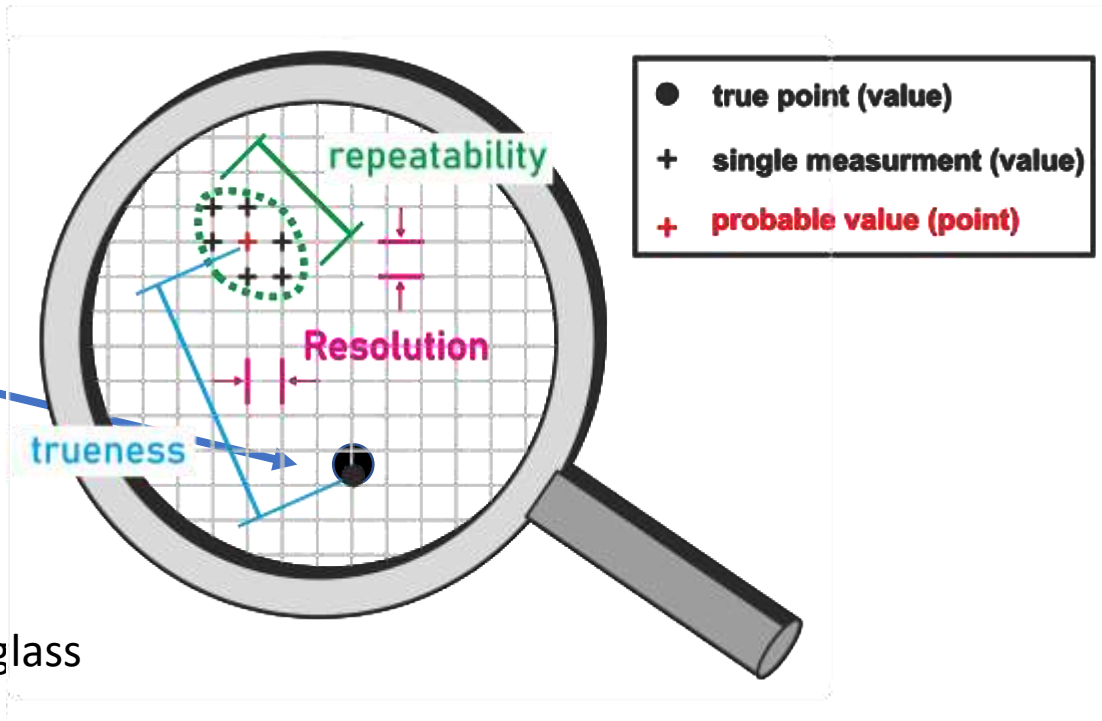
**trueness
accuracy**



... the difference between measured and nominal values



virtual magnifying glass



vocabulary-validation and calibration

calibration



the documented comparison of the measurement device to be calibrated against a traceable reference device.

nominal	123,456 m
measured	123,451 m
=nominal-measured	0,005 m

validation



investigation whether the results of a measurement system are within a predefined range compared to the nominal value(s)

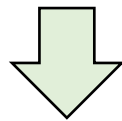
What is the difference between **calibration** and **validation** ?

in both cases we need nominal values

----- The aims are different -----

validation

... does the measurement system fulfil the specifications?



holistic approach

calibration

improve the measurement accuracy



isolated components
like additional constant, scale factor, ...

How does it work?

1. Create nominal values



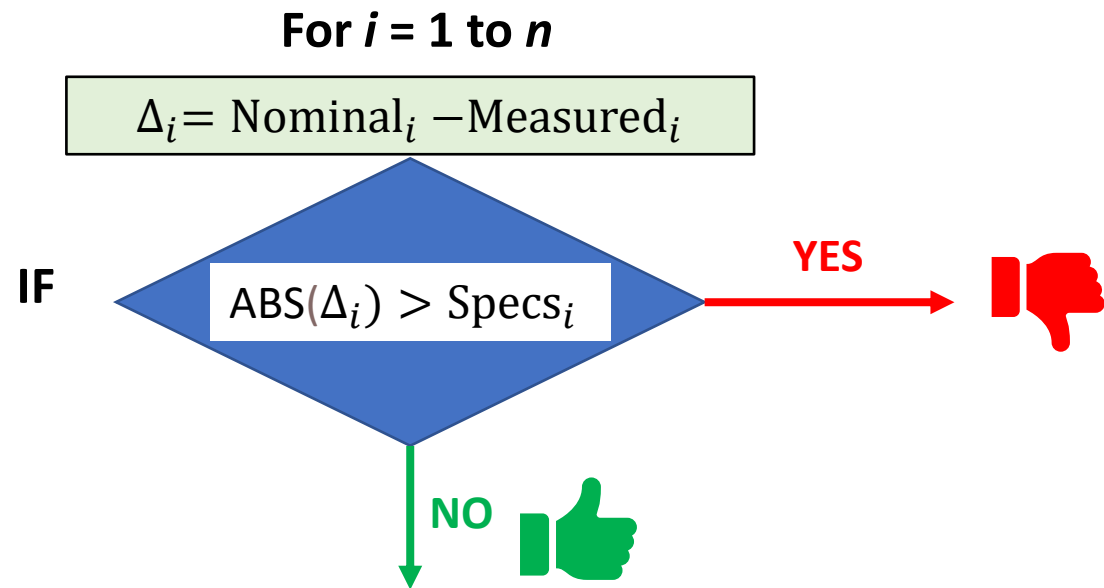
- several measurement systems with higher accuracy
- use only checked instruments
- overdetermined determination with accuracy proofed (Least Squares Adjustment)

2. Define the specifications for the system to be checked



- depending on
 - ... the purpose
- ... the specifications of the manufacturer

3. Do the validation



Example for the validation of tacheometers for legal survey

North Rhine-Westphalia
17,6 Millions inhabitants
350 publicly appointed surveyors

There is no general law or regulation for surveying instruments in Germany

For legal surveying work each Office had to proof on a yearly base the functionality of the electronic distance measurement equipment. since 1985

Disadvantages

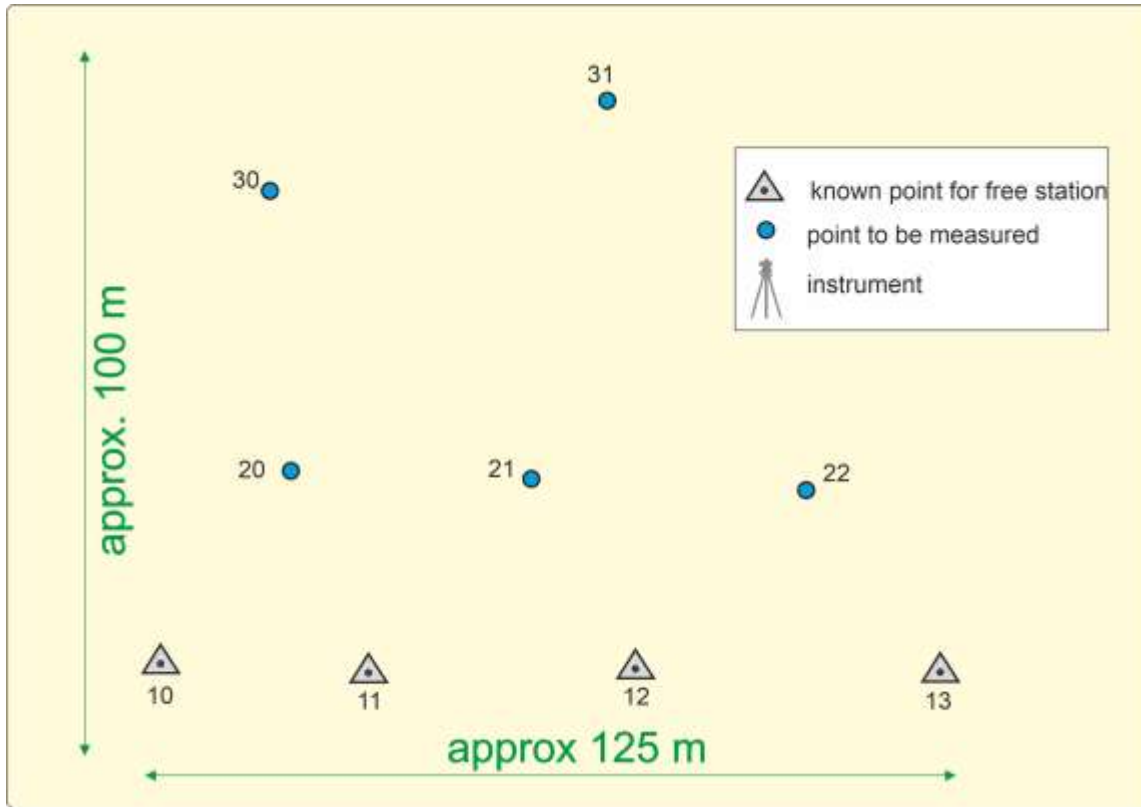
- only EDM-part is checked → angles are not included
- the check was on a base line with pillars
- components like the reflector rod, software, centering, or the operator himself are not part of the proof

North Rhine-Wes



Germany

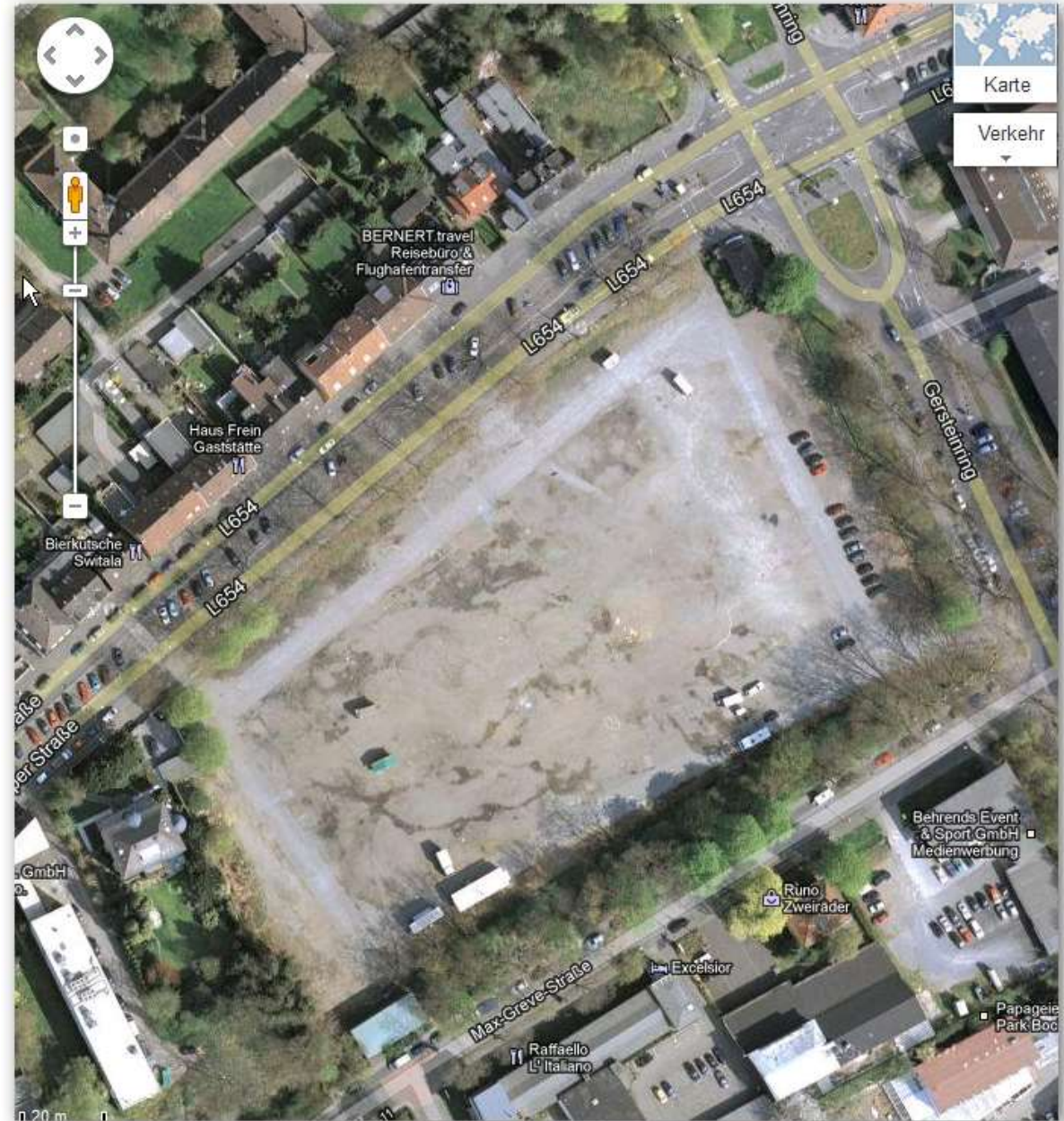
Test field Bochum – geometrical lay out



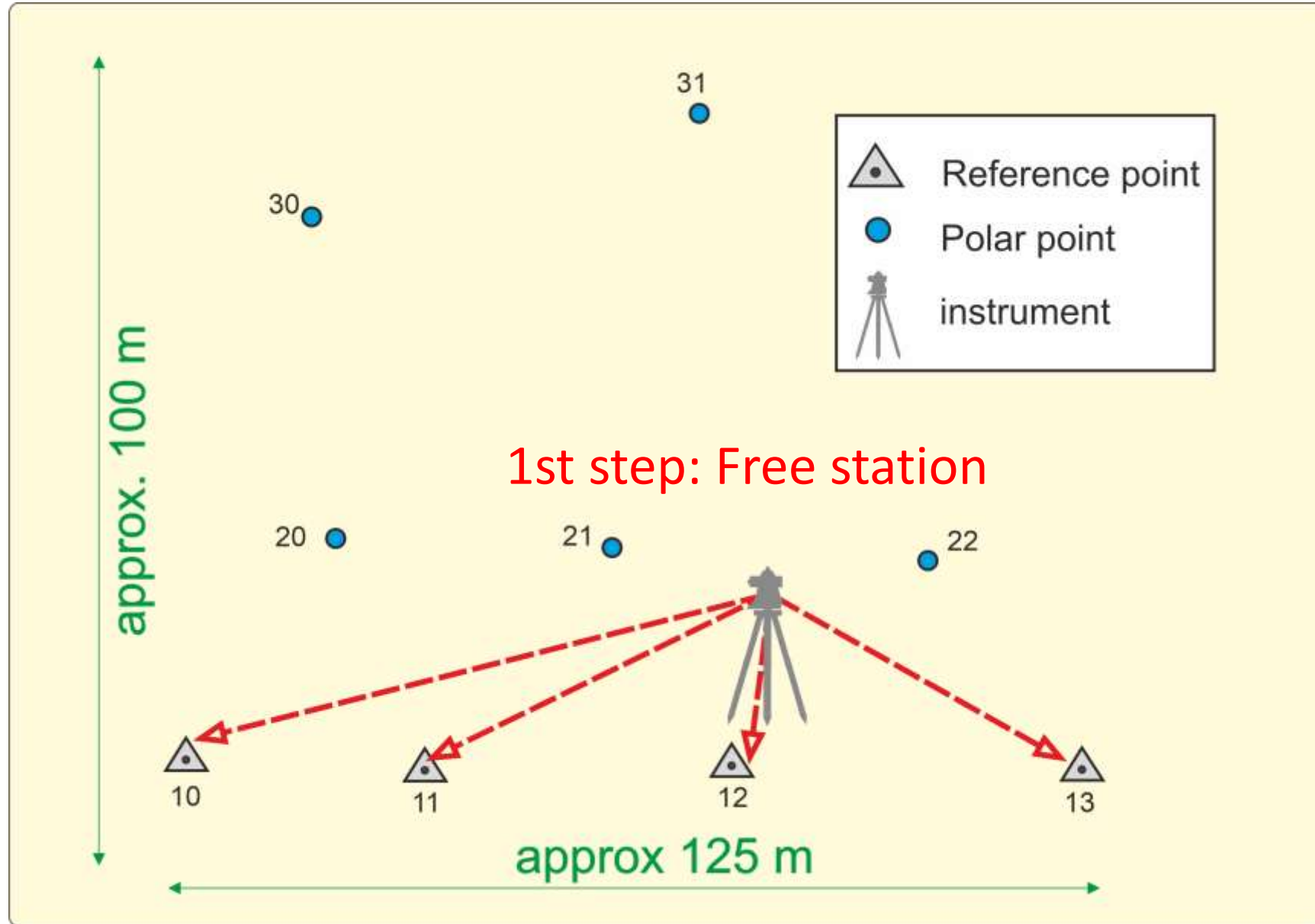
2D- Test Field consisting of 9 ground control points

Nominal coordinates

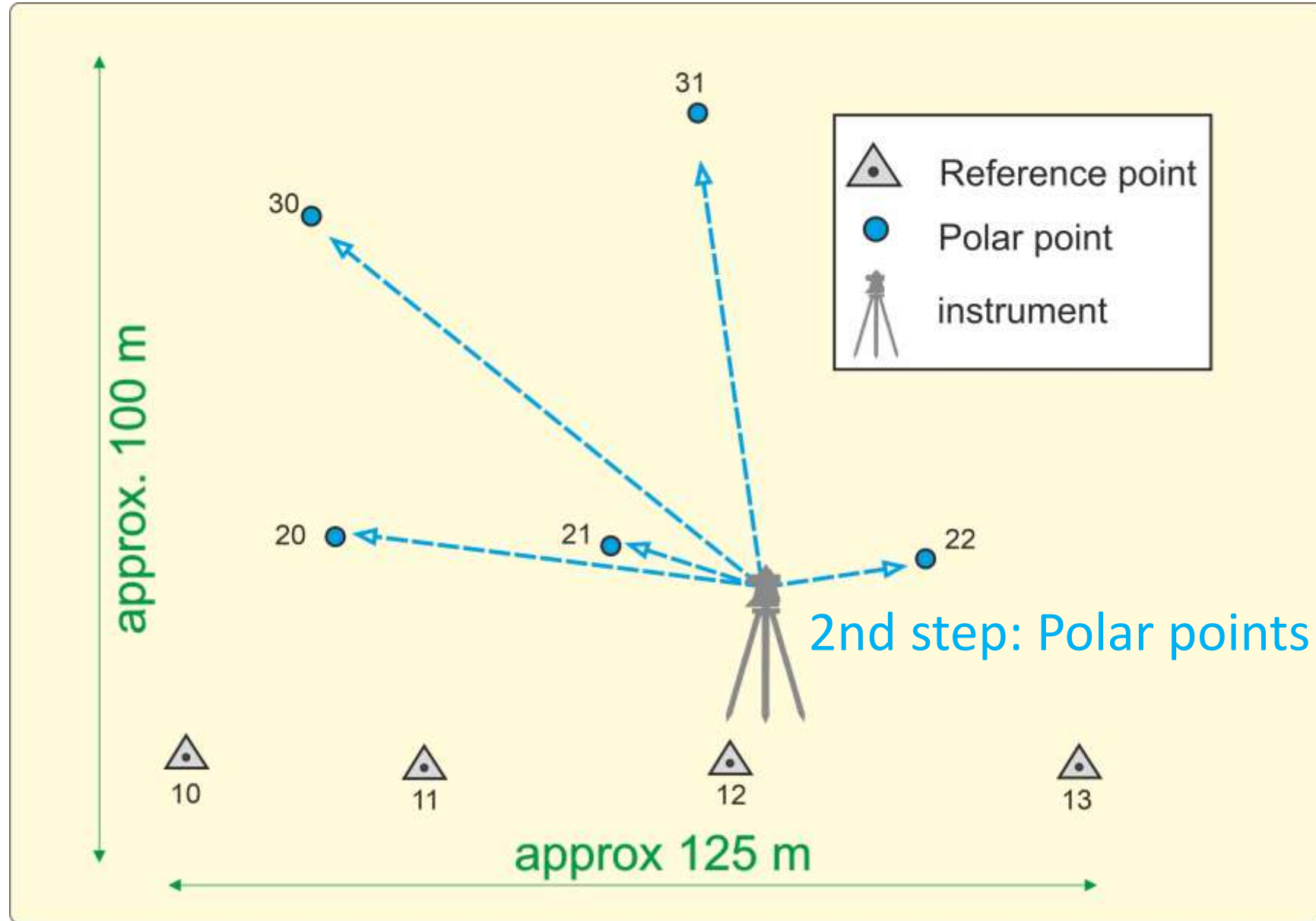
- local coordinate system
- each coordinate $\sigma < 1$ mm



Test field Bochum Phase 1 – Free Station



Test field Bochum Phase 2 – Measure Polar Points



Test field Bochum Phase 3 – Comparison

Comparison

Nominal- coordinates – measured coordinates

Sollkoordinaten		
Punkt	RE	HO
10	1500,000	2500,000
11	1533,708	2499,173
12	1575,901	2500,000
13	1624,241	2499,558
20	1521,591	2531,102
21	1559,946	2529,440
22	1603,467	2528,415
30	1518,374	2575,117
31	1572,032	2589,737

Im Gerät	RE	HO
20	1521,5840	2531,1020
21	1559,9450	2529,4370
22	1603,4750	2528,4200
30	1518,3680	2575,1260
31	1572,0310	2589,7500

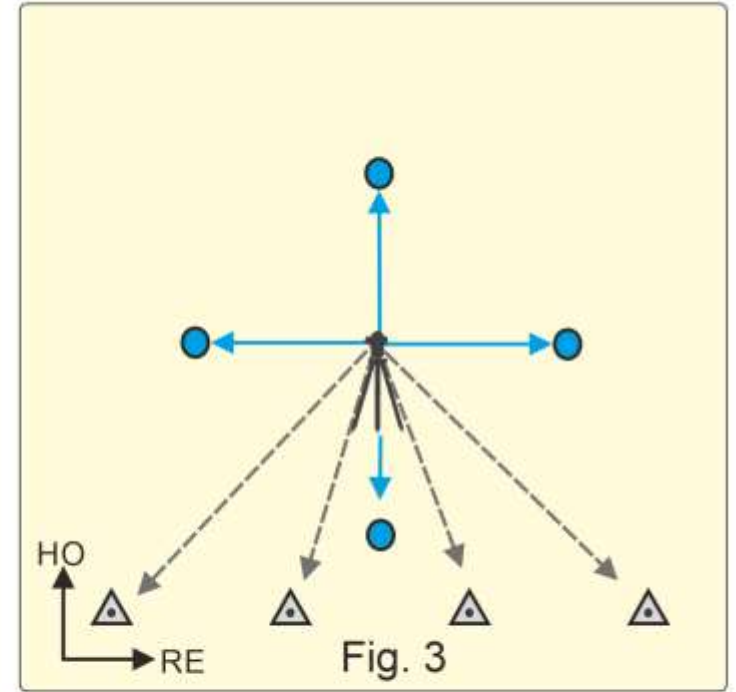
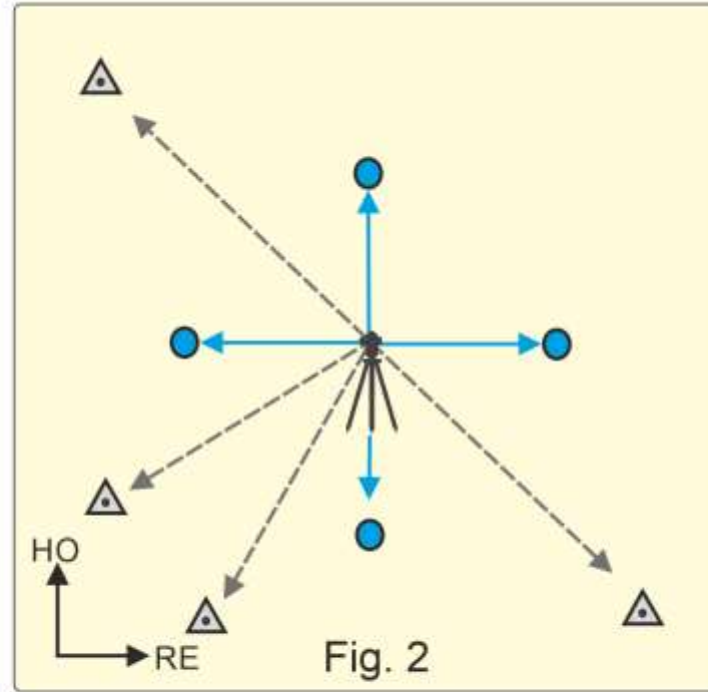
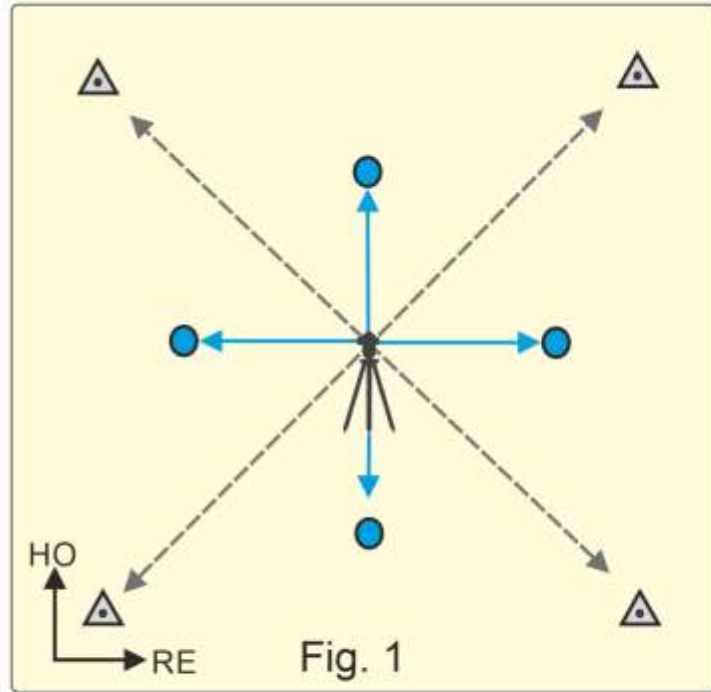
classification [m]

0 bis 0,005
0,006 bis 0,010
mehr als 0,010

result of the validation [m]

dRE	dHO	dS
0,007	0,000	0,007
0,001	0,003	0,003
-0,008	-0,005	0,010
0,006	-0,009	0,011
0,001	-0,013	0,013

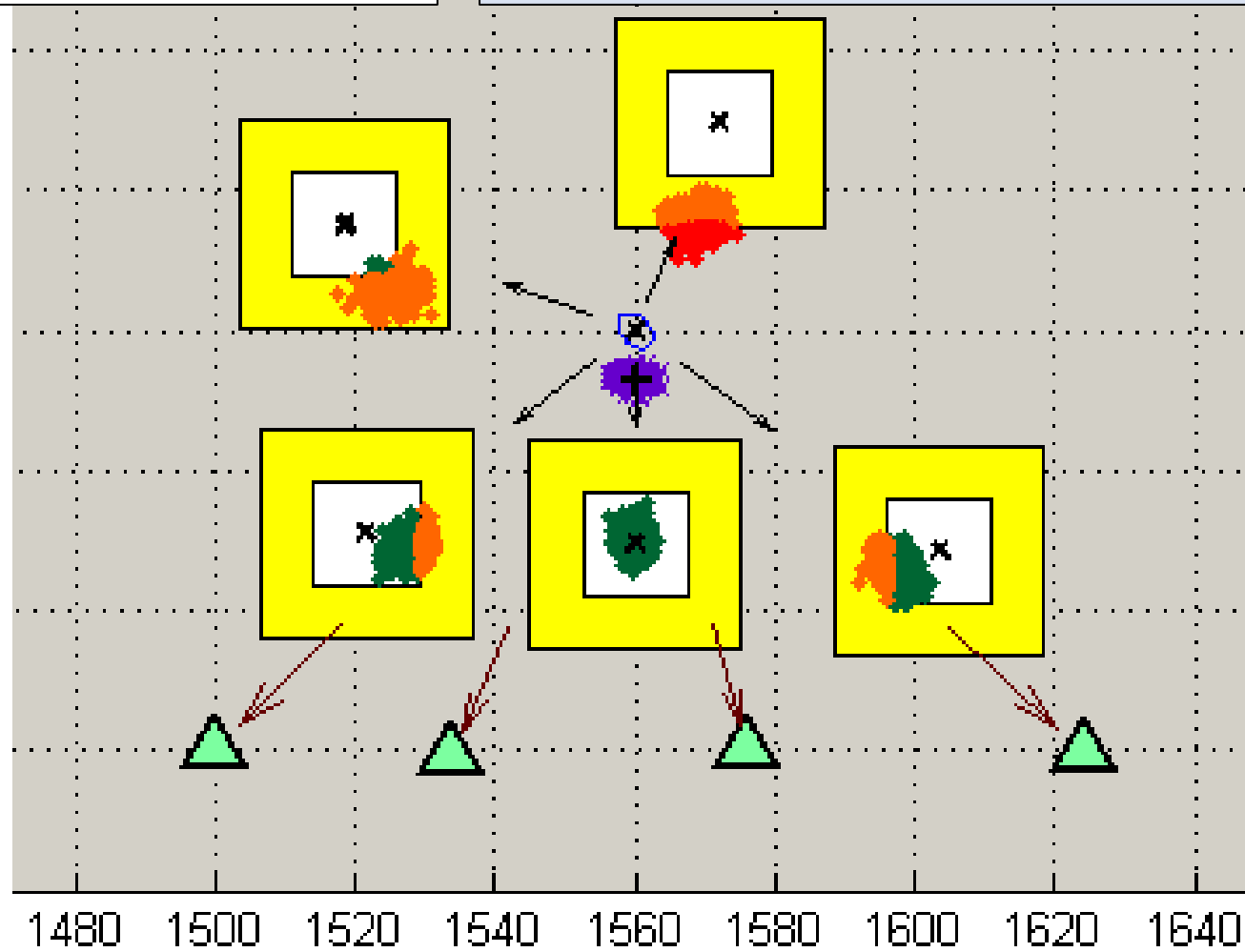
simulation – geometry free station



simulation of the geometrical layout with MATLAB

with and without systematic errors

here additional constant of 5mm



results- 65 different measurements (validations)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	Stationierung im Gerät																
		dY	dX	dS	dY	dX	dS	dY	dX	dS	dY	dX	dS	dY	dX	dS	
Instrument	Nr	Punkt-Nr.			Punkt-Nr.			Punkt-Nr.			Punkt-Nr.			Punkt-Nr.			
		20			21			22			31			32			
Leica TCA 2003	1	-0,3	-0,1	0,3	-0,5	-0,2	0,5	-0,2	-0,1	0,2	-0,5	0,0	0,5	-0,2	-0,1	0,2	
Leica TCA 2003	2	-0,4	-0,2	0,4	-0,5	-0,3	0,6	-0,2	-0,2	0,3	-0,4	0,1	0,4	-0,2	-0,1	0,2	
Leica TCA 2003	3	-0,5	-0,3	0,6	-0,2	-0,2	0,3	-0,4	0,1	0,4	-0,2	-0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	
TCRP1205 (14L)	4	-0,2	-0,1	0,3	-0,2	-0,4	0,4	-0,5	-0,4	0,7	-0,3	0,0	0,3	0,0	-0,3	0,3	
TCRP1205 (14L)	5	-0,2	0,2	0,3	-0,3	0,1	0,3	-0,3	-0,3	0,5	-0,1	0,0	0,1	0,0	-0,3	0,3	
TCRP1205 (14L)	6	-0,3	0,0	0,3	-0,3	-0,2	0,3	-0,4	-0,4	0,6	-0,2	0,0	0,2	0,0	-0,3	0,3	
TC1105 (14E)	7	0,0	-0,3	0,3	-0,4	-0,1	0,4	-0,8	-0,4	0,9	0,1	-0,5	0,5	-0,6	-1,0	1,1	
TC1105 (14E)	8	0,1	-0,2	0,2	-0,2	-0,4	0,5	-0,8	-0,8	1,1	0,4	-0,2	0,4	0,1	-1,0	1,0	
TC1105 (14E)	9	0,0	-0,2	0,2	-0,3	-0,3	0,4	-0,7	-0,6	1,0	0,3	-0,4	0,4	-0,3	-1,0	1,0	
TC1105 (14E)	10	-0,3	0,1	0,3	-0,2	0,0	0,2	-0,5	0,4	0,6	0,0	-0,1	0,1	-0,1	-0,1	0,2	
TC1105 (14E)	11	-0,5	0,6	0,8	-0,2	-0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	-0,3	0,1	0,3	0,2	0,3	0,3	
TCRP1203 (14F)	12	-0,5	-0,3	0,6	-0,5	-0,2	0,5	0,6	0,5	0,7	-0,9	0,4	1,0	0,1	0,3	0,4	
TCRP1203 (14F)	13	0,0	0,1	0,1	-0,4	-0,6	0,7	-0,1	0,5	0,5	-1,1	0,4	1,1	0,1	0,3	0,4	
TCR 1102 (14A)	14	-0,4	0,1	0,4	-0,4	0,0	0,4	-0,3	-0,1	0,3	-0,5	-0,3	0,6	-0,1	-0,2	0,3	
TCR 1102 (14A)	15	-0,3	-0,1	0,3	-0,2	-0,2	0,2	0,0	0,3	0,3	-0,8	-0,2	0,8	-0,6	-0,3	0,7	
TCRP 1205 (14L)	16	-0,4	-0,2	0,5	-0,5	-0,2	0,5	-0,3	-0,3	0,4	-0,5	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,1	
TCRP 1205 (14L)	17	-0,2	0,3	0,4	-0,4	-0,1	0,4	-0,3	-0,3	0,4	-0,4	0,2	0,4	0,0	0,1	0,1	
TCRP 1205 (14L)	18	-0,4	-0,2	0,5	-0,5	-0,2	0,5	-0,3	-0,3	0,4	-0,5	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,1	
TCRP 1205 (14L)	19	-0,2	0,3	0,4	-0,4	-0,1	0,4	-0,3	-0,3	0,4	-0,4	0,2	0,4	0,0	0,1	0,1	
TC 1102 (14B)	20	-0,1	-0,8	0,8	-0,5	-0,5	0,7	-1,0	-0,7	1,2	-0,3	-1,0	1,1	-0,1	-1,3	1,3	
TC 1102 (14B)	21	0,2	-0,1	0,2	-0,9	-0,5	1,0	-0,5	0,1	0,5	0,1	-0,6	0,6	0,2	-0,7	0,7	
Leica Viva TS 15 I 3	22	-0,3	-0,3	0,4	-0,5	-0,4	0,6	-0,5	0,1	0,5	-0,1	0,2	0,2	0,1	-0,3	0,3	
Leica Viva TS 15 I 3	23	-0,1	-0,2	0,2	-0,1	-0,3	0,3	-0,4	0,2	0,4	-0,2	0,0	0,2	0,0	-0,1	0,1	
Trimble 3600 Serie	24	-0,6	0,4	0,7	-0,5	0,5	0,8	0,0	0,5	0,5	-0,4	0,5	0,6	0,1	0,7	0,7	
Trimble 3600 Serie	25	-0,5	0,1	0,5	-0,4	0,0	0,4	-0,3	0,0	0,3	-0,4	0,0	0,4	-0,2	-0,1	0,3	
Trimble 3600 Serie	26	-0,7	0,0	0,7	-0,7	0,0	0,7	0,2	0,5	0,5	-0,9	-0,2	0,9	-0,6	0,3	0,7	
Trimble 3600 Serie	27	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Trimble 3600 Serie	28	-0,6	0,8	1,0	-0,6	0,6	0,8	0,2	0,4	0,4	-0,3	0,8	0,9	0,2	0,7	0,7	
Trimble 3600 Serie	29	-0,9	0,0	0,9	-0,5	-0,1	0,5	0,2	0,2	0,3	-0,7	0,6	0,9	-0,5	0,9	1,0	
Leica 1203	30	-0,9	0,3	1,0	-1,0	0,2	1,0	0,3	0,7	0,8	-0,7	0,6	0,9	-0,2	0,9	0,9	
Leica 1203	31	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,9	
Leica 1103	32	-0,9	0,3	1,0	-1,0	0,2	1,0	0,3	0,7	0,8	-0,7	0,6	0,9	-0,2	0,9	0,9	
Leica 1103	33	-1,0	0,1	1,0	-0,8	-0,3	0,8	0,3	0,0	0,3	-0,7	0,9	1,1	0,2	0,9	0,9	

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
	Stationierung im Gerät																
		dY	dX	dS	dY	dX	dS	dY	dX	dS	dY	dX	dS	dY	dX	dS	
Instrument	Nr	Punkt-Nr.			Punkt-Nr.			Punkt-Nr.			Punkt-Nr.			Punkt-Nr.			
		20			21			22			31			32			
Leica Viva TS 15 I 2	34	-0,6	-0,3	0,6	-0,4	-0,1	0,4	0,0	-0,6	0,6	-0,1	1,3	1,3	0,7	0,2	0,7	
Leica Viva TS 15 I 2	35	-0,6	-0,3	0,6	-0,4	-0,1	0,4	-1,0	0,1	1,0	-0,6	-0,6	0,9	-1,1	-0,2	1,1	
Topcon GTS-801 A	36	0,8	-0,7	1,1	0,5	-1,1	1,2	-1,1	-1,9	2,2	0,8	-0,6	1,0	0,7	-1,5	1,7	
Topcon GTS-801 A	37	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	1,3	0,0	0,0	1,9	
Topcon GTS-8203 A	38	0,5	0,0	0,5	-0,5	-0,1	0,5	-1,7	-0,2	1,7	0,1	-0,8	0,8	-0,3	-1,7	1,8	
Topcon GTS-8203 A	39	0,6	-0,8	1,0	0,0	-1,1	1,1	-1,6	-1,3	2,1	0,0	-0,7	0,7	-0,2	-1,7	1,7	
Topcon GPT-9003A	40	-0,5	0,0	0,5	-0,5	-0,1	0,6	-0,3	0,3	0,4	-0,7	-0,2	0,7	-0,3	-0,3	0,4	
Topcon GPT-9003A	41	-0,1	-0,6	0,6	0,0	-0,1	0,1	-0,2	-0,3	0,4	0,4	1,1	1,2	0,4	0,0	0,4	
Mareite 1	42	-0,7	-0,7	1,0	0,0	-0,2	0,2	-1,8	0,3	1,8	-0,7	-0,2	0,7	-0,6	-0,3	0,7	
Mareite 2	43	-0,2	-0,3	0,4	-0,1	-0,1	0,1	-0,1	-0,3	0,3	0,3	-0,3	0,5	0,0	-0,3	0,3	
Mareite 3	44	0,1	-0,1	0,1	0,2	-0,3	0,4	-0,4	-0,1	0,4	-0,5	-0,1	0,5	-0,5	-0,1	0,6	
Mareite 4	45	0,3	0,3	0,4	-0,1	0,2	0,2	-0,4	-0,1	0,4	-0,5	-0,3	0,6	-0,2	-0,2	0,3	
Mareite 5	46	2,3	-0,7	2,4	0,3	0,7	0,8	-2,8	-0,9	2,9	1,6	-2,7	3,2	-0,6	-4,2	4,3	
Mareite 6	47	1,8	-1,7	2,5	1,2	-2,5	2,8	-3,1	-2,0	3,7	0,4	-3,1	3,2	-0,6	-3,4	3,5	
Mareite 7	48	0,0	0,1	0,1	-0,5	0,4	0,6	-0,5	0,3	0,5	-0,5	0,1	0,5	-0,1	0,1	0,2	
Mareite 8	49	0,0	0,1	0,1	-0,4	0,1	0,4	-0,5	0,2	0,5	-0,5	0,1	0,5	-0,2	0,1	0,3	
Mareite 9	50	-0,1	0,4	0,4	-0,5	0,2	0,5	-0,7	0,0	0,7	-0,5	0,1	0,5	-0,2	0,1	0,3	
Mareite 10	51	0,1	0,2	0,2	-0,1	0,4	0,4	-0,4	0,2	0,4	-0,4	0,1	0,4	-0,5	-0,1	0,6	
Mareite 11	52	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,2	0,2	-0,3	0,3	0,4	-0,5	-0,2	0,5	-0,5	-0,2	0,6	
Leica Viva	53	-0,6	-0,1	0,6	-0,5	-0,1	0,5	0,0	0,2	0,2	-0,7	-0,1	0,7	-0,6	0,1	0,7	
Leica Viva	54	-0,5	0,1	0,5	-0,6	0,0	0,6	-0,5	-0,2	0,5	-0,6	0,6	0,8	0,1	-0,3	0,3	
Leica 1203	55	0,1	-0,3	0,3	-0,7	0,1	0,7	-0,8	-0,1	0,8	0,0	-0,7	0,7	-0,5	-0,9	1,1	
Leica Viva	56	-0,7	0,4	0,8	-0,7	0,5	0,8	0,1	0,5	0,6	-1,1	0,6	1,2	-0,6	0,9	1,1	
Leica Viva	57	-0,8	0,2	0,8	-0,3	-0,1	0,3	0,3	-0,2	0,4	-0,4	1,0	1,1	0,5	0,6	0,8	
Leica 1203	58	-0,7	0,4	0,8	-0,5	0,1	0,5	0,1	0,6	0,6	-1,1	0,5	1,3	-0,6	0,9	1,1	
Leica 1203	59	-0,7	0,2	0,7	-0,3	0,0	0,3	0,5	0,3	0,5	-0,6	1,0	1,2	0,3	0,9	1,0	
Trimble 3603	60	-0,5	0,3	0,5	-0,6	0,1	0,6	-0,4	0,2	0,4	-0,9	0,1	0,9	-0,5	0,4	0,6	
Trimble 3603	61	-0,4	0,2	0,5	-0,3	-0,1	0,3	0,1	-0,3	0,3	-0,1	0,4	0,4	0,3	0,1	0,3	
Leica Viva Rund	62	0,0	-0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3	
Leica Viva Rund	63	0,0	0,2	0,2	0,3	-0,2	0,4	0,4	-0,1	0,4	0,5	0,3	0,6	0,5	0,0	0,5	
	Nr	Punkt-Nr.			Punkt-Nr.			Punkt-Nr.			Punkt-Nr.			Punkt-Nr.			
		20			21			22			31			32			

analysis – potential error sources?

1. Measurement system

additional constant

phase inhomogeneities

scale factor

centering

cyclic errors

2. environmental conditions

air temperature

air pressure

air moisture

3. Observer (User)

measurement reflector height / instruments height

a. Measurements

Centering

horizontalisation

b. Software Total Station

Mis-Usage of the software

for example: wrong **additional constant**

1 manufacturer

9 different prism types

5 different additional constants from **0 - 35 mm**

Prisms	Constants [mm]	
Circular prism GPH1P	0.0	
Circular prism GPR121/111	0.0	
Miniprism GMP101	+17.5	
Miniprism GMP111 GMP111-0	+17.5 0.0	
Reflective tape	+34.4	
Flat prism CPR 105	+34.4	
360° prism GRZ4	+23.1	
360° prism GRZ122	+23.1	
360° Mini prism GRZ101	+30.0	

analysis

- real errors

The requirement was to “stay” within $\pm 1\text{cm} = \pm 10\text{mm}$ for all 5 polar points

The main reasons for failure were

- a bended or distorted reflector pole
- wrong additional constant in the software

Modification of the procedure

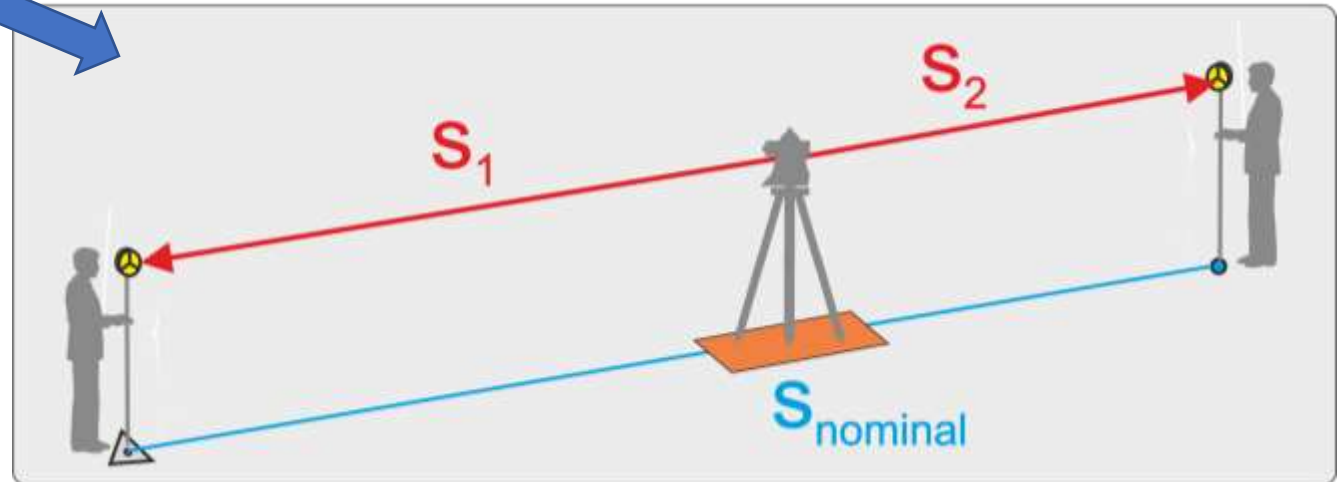
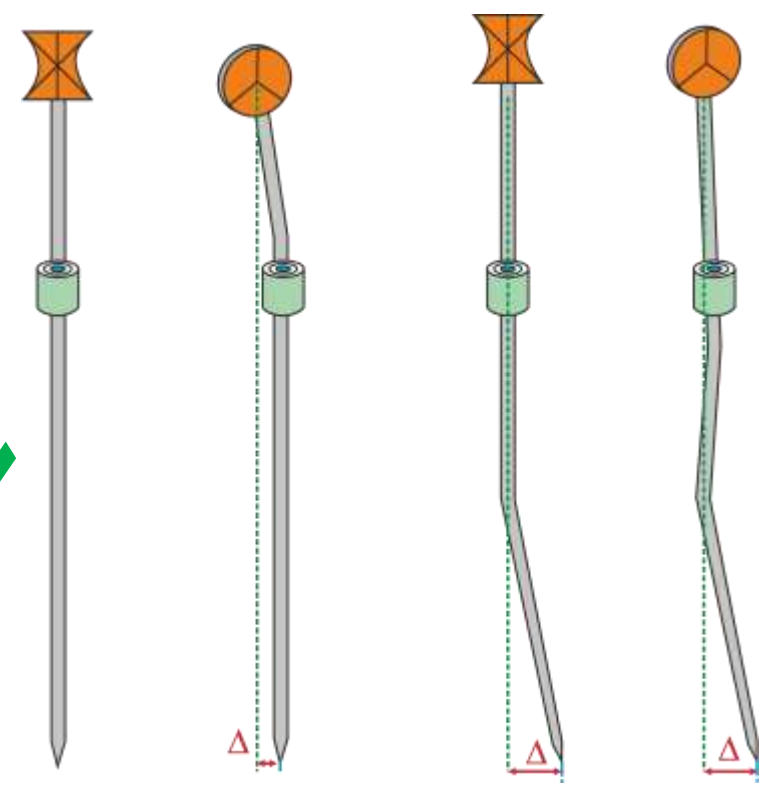
1. check the additional constant between 2 points of the test field

IF successful continue with the full procedure

2a) Free Station

2b) Measure the Polar points

2c) Compare the measurements with the nominal values



Summary - 1

Since 5 years this procedure of “validation” is binding

- for all legally appointed surveyors +
- for all state surveying offices in North Rhine-Westphalia (Germany)

the pillar based calibration of EDM is no longer mandatory!

Today there are **14 different test fields** (spread over the state) for Tacheometers and GNSS-rover systems available!

In addition there is a **web based software** - free of charge- available for the automatic processing including the generation of a certificate!

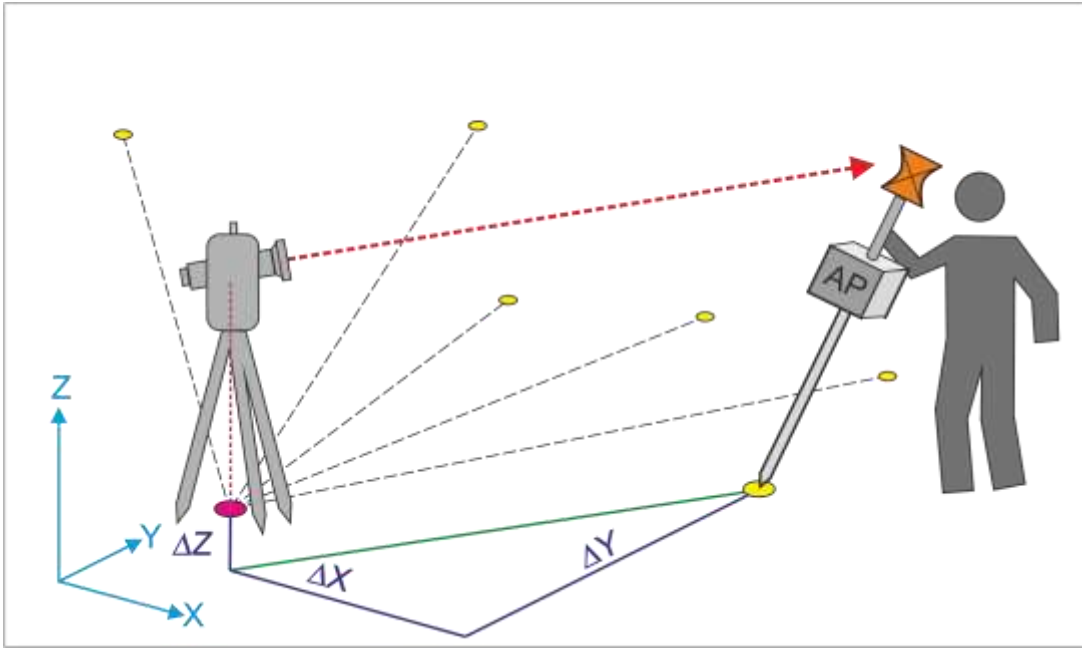
Philosophy of the test procedure

- the nominal values are published (**no secrets!**)
- it is a self test (**trust**)

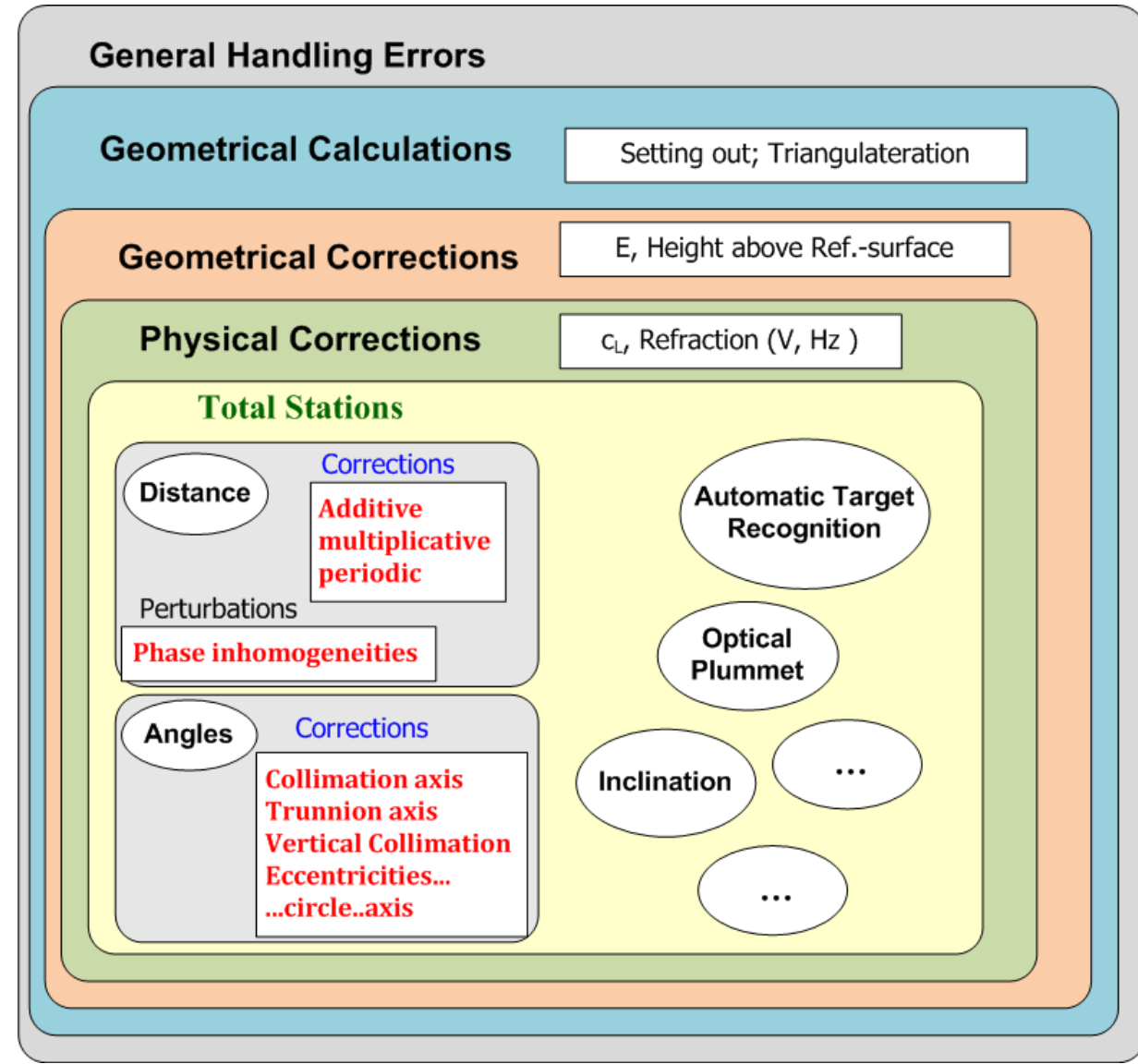
Summary - 2

Advantages of „Validation“

- Holistic approach



- complex systems can be checked



Thank you very much
for your attention!

contact: rudolf.staiger@dvw.de

