

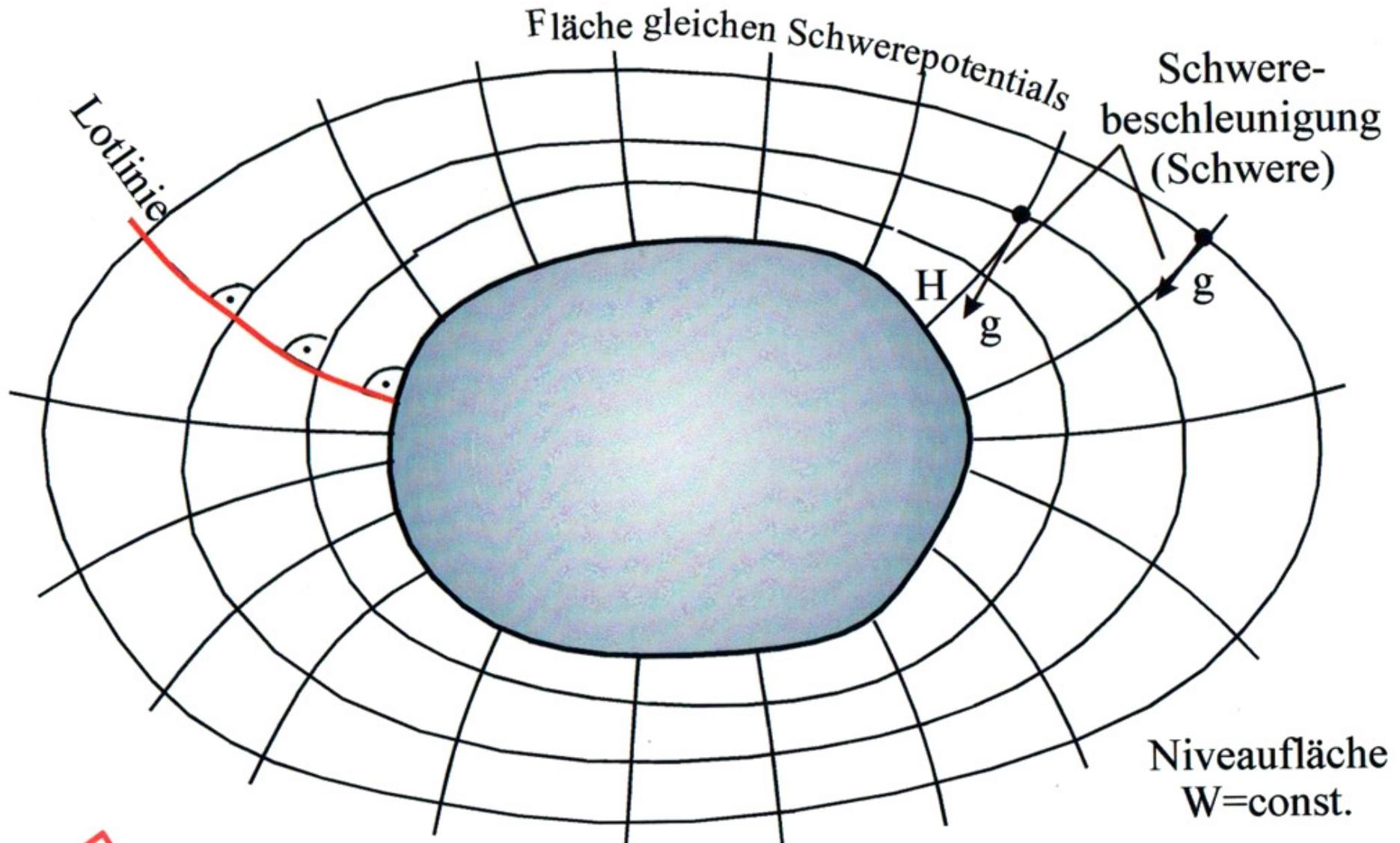
Höhenbestimmung (Lehrbuch Kap.5)

- Was ist „Höhe?“
- Anforderungen an Höhen
- Höhensysteme
 - Normalhöhen
 - Orthometrische Höhen
 - Ellipsoidische Höhen
- Das Landeshöhensystem der Schweiz
- Messverfahren, Instrumentarium und Fehlereinflüsse
 - Übersicht Messverfahren
 - Das geometrische Nivellement
 - einfaches Nivellement
 - Präzisionsnivellement
 - Das trigonometrische Nivellement
 - Einfluss der Meteorologie

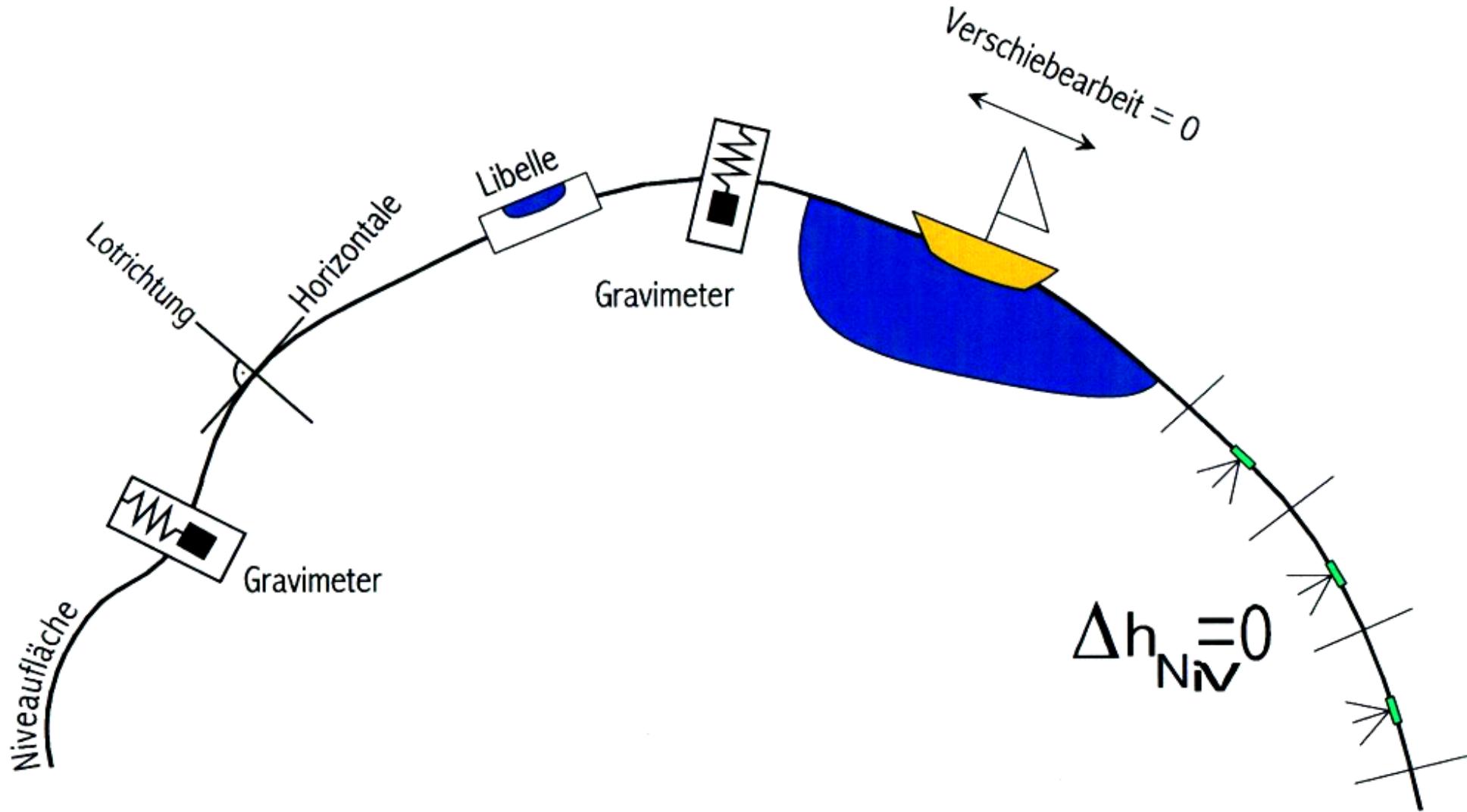
Höhen, die sich auf das Geoid beziehen

- Normalhöhen
- Orthometrische Höhen

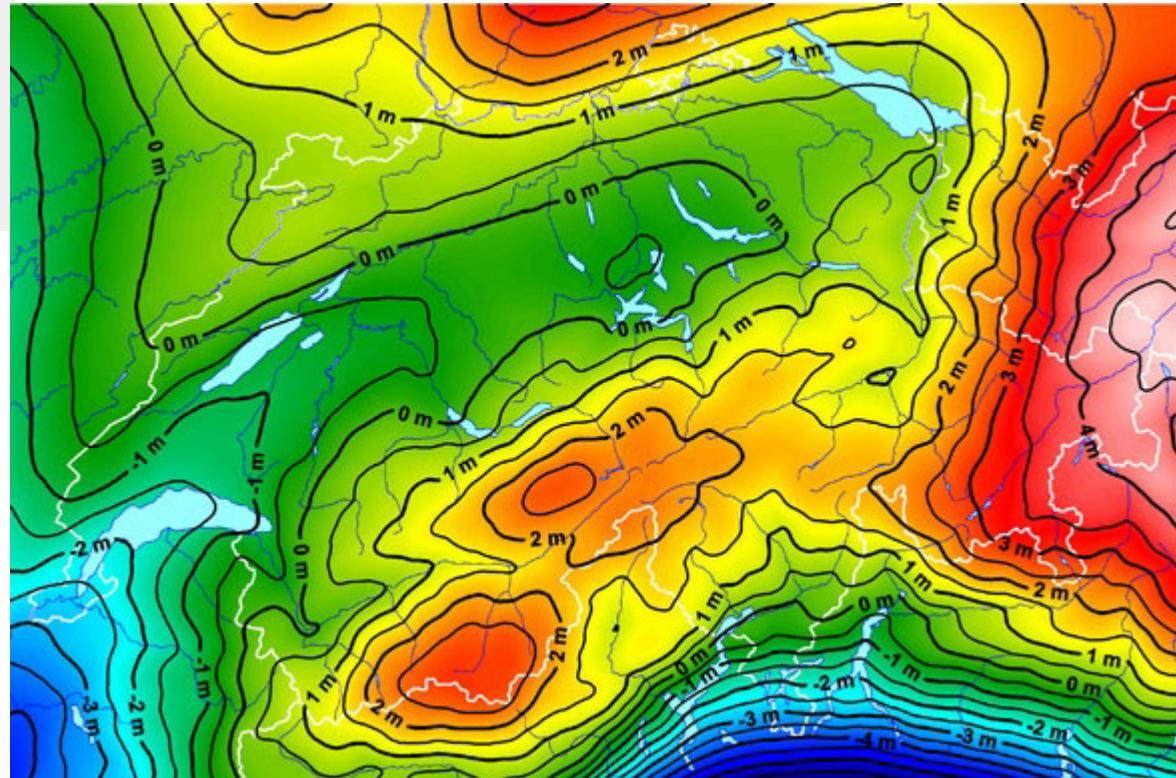
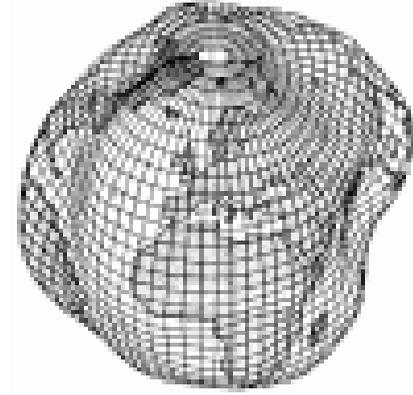
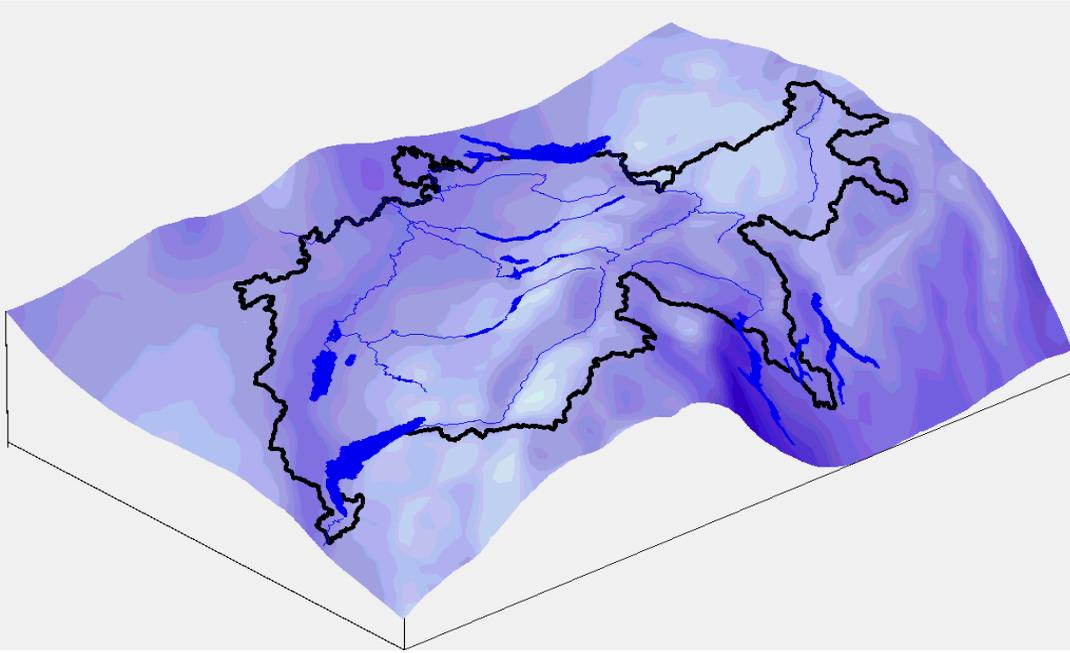
Geoid



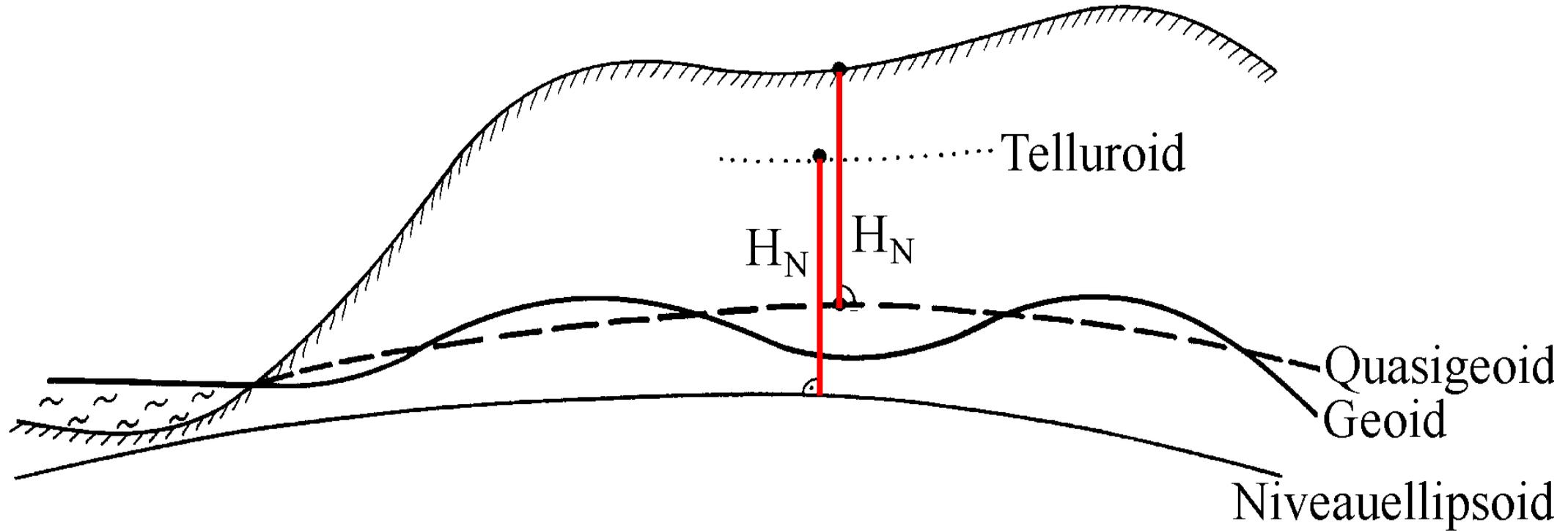
Geoid $w = \text{konstant}$



Geoid der Schweiz



Normalhöhen

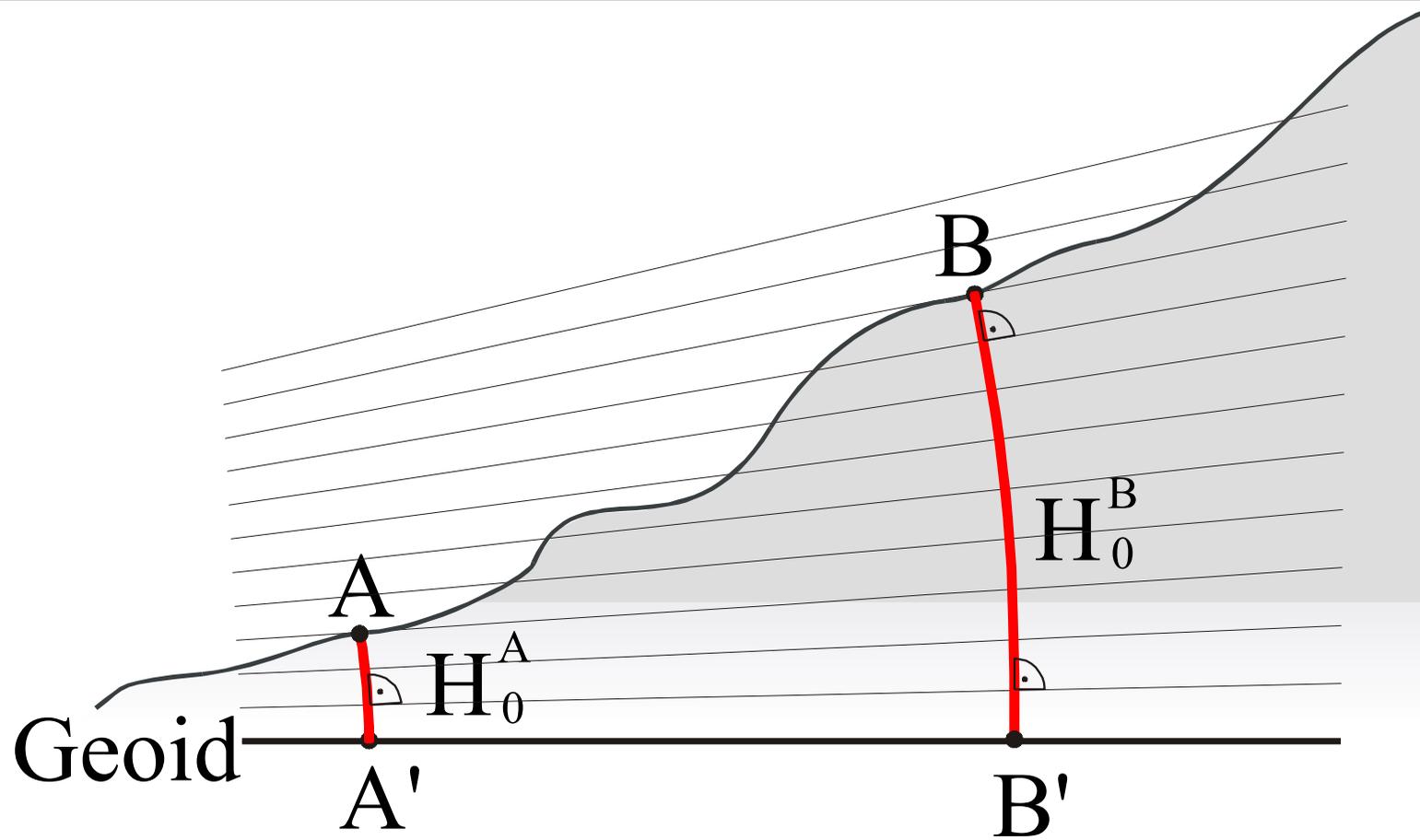


Telluroid = Annäherung der physischen Erdoberfläche (keine Äquipotentialfläche)

Niveauellipsoid = Rotationsellipsoid, das die gleiche Masse und Rotationsgeschwindigkeit wie die Erde hat

Das schweizerische Höhensystem

Orthometrische Höhen LHN 95



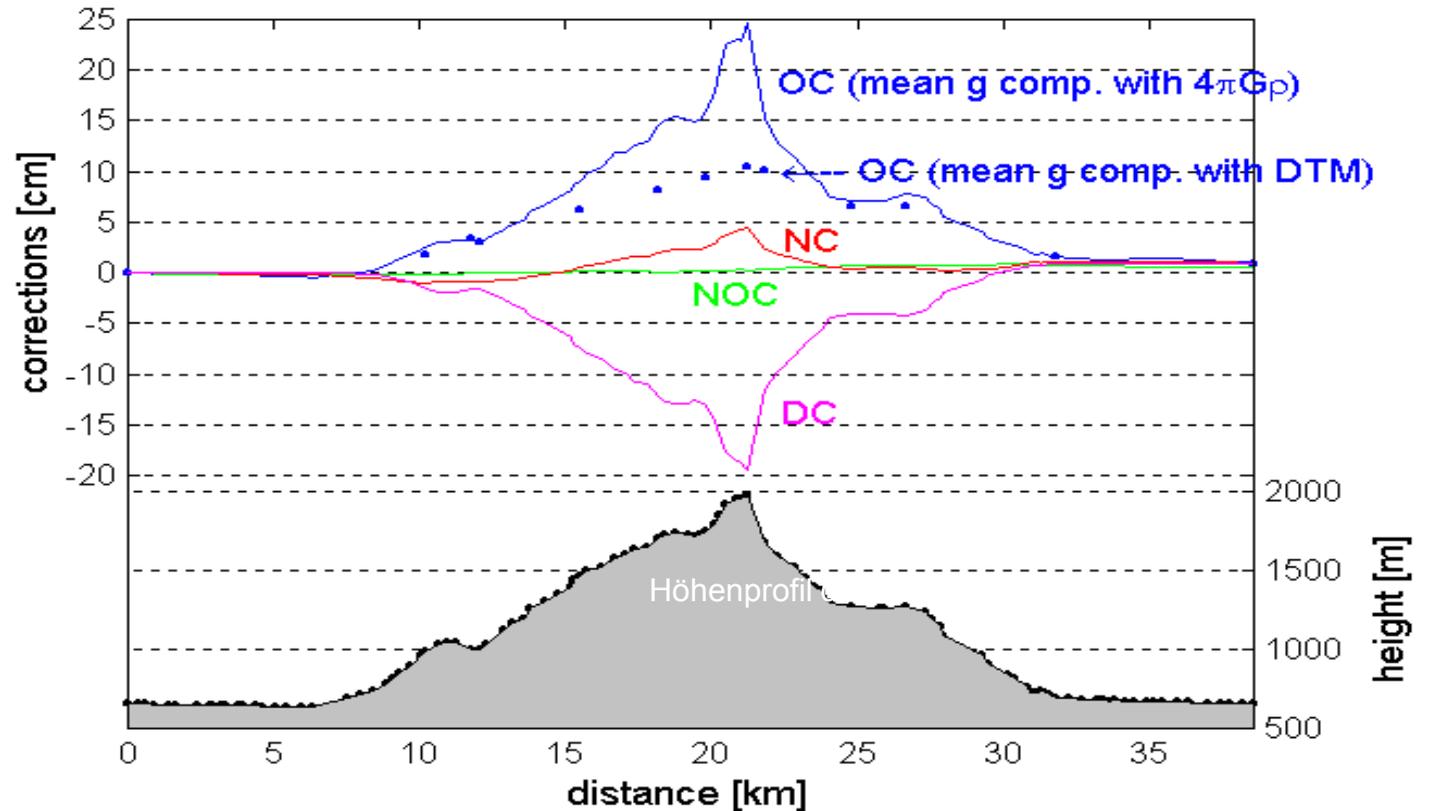
Länge der Lotlinie zwischen Punkt auf der Erdoberfläche und dem Geoid

Orthometrische Höhen (Schweiz)

1. Wegunabhängigkeit	erfüllt
2. Wasser darf nicht selbständig fließen	nicht streng erfüllt, aber lokale Genauigkeit
3. Bezugsfläche = Niveaufläche	erfüllt; Bezugsfläche ist das Geoid
4. Grössenordnung der Korrekturen klein	i.A. erfüllt, aber z.B. in Gebirgen bei Vorliegen von Salzstöcken können die orthometrischen Korrekturen relativ grosse Beträge annehmen

Differenzen zwischen den verschiedenen Korrekturen

- OC:** orthometrische Reduktion
- NC:** Normalreduktion
- NOC:** normalorthometrische Reduktion
- DC:** dynamische Reduktion



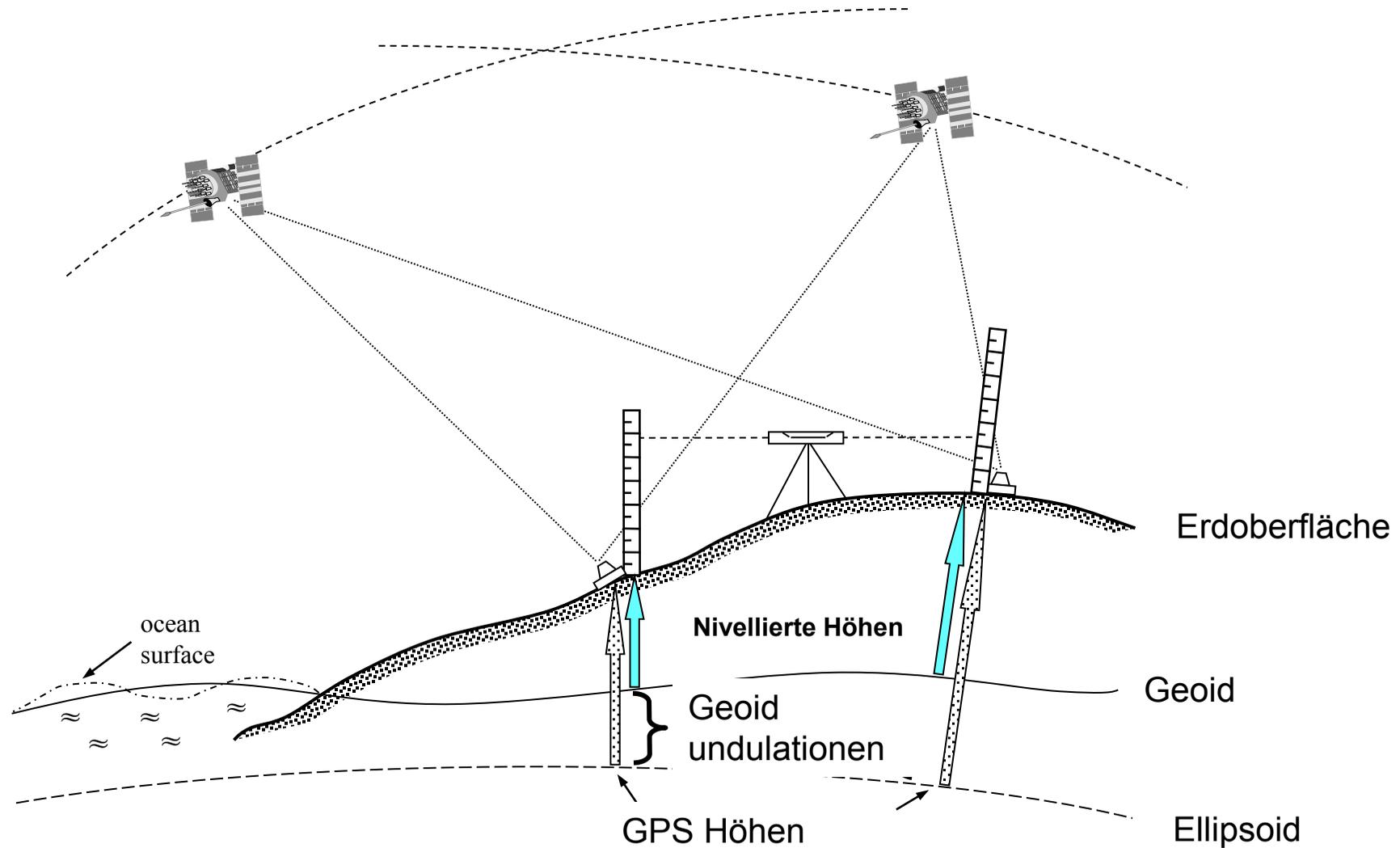
Die Kurven geben jeweils die Reduktion bezüglich des Schleifenausgangspunktes an:

Institut für Astronomische und Physikalische Geodäsie
Technische Universität München

$\Delta H = \Delta n + \text{Red}$
mit

- H:** Höhenunterschied eines Schleifenpunktes zum Ausgangspunkt im jeweiligen System,
- n:** rohes Nivellement vom Ausgangspunkt her
- Red:** Reduktion für das jeweilige System

GPS- Höhen in Relation zu Nivellement-Höhen



Schweizerische Höhensysteme

**Nationale Höhenbezugspunkte
Landesnivellement LHN03 LHN95**

Historie: Höhen über NN



Pierre du Niton, Genf

Normalnull (NN): Alle Höhen werden auf eine Ebene bezogen, die man sich absolut waagrecht unter dem Festland entlang gezogen dachte.

Waagrecht bedeutet: eine Kugel würde überall ruhig liegen, eine Wasserwaage überall "im Wasser stehen". Eine waagerechte Fläche auf der Erde ist also gekrümmt!

Die schweizerische Landesvermessung bezieht sich auf das Mittelmeer in Marseille (Referenzpunkt: Felsblock Pierre du Niton im Genfer See mit 373,600 m (früher 373,86))

D,NE, LUX,.. Nullpunkt des Amsterdamer Pegels gewählt, dieser liegt auf der Höhe des mittleren Wasserstandes der Nordsee bei Amsterdam.

Belgien hat Pegel von Ostende als Bezug

Der Unterschied zwischen "Null" in Deutschland und der Schweiz beträgt 27 cm

Die österreichische Landesvermessung bezieht sich auf eine Marke am Pegel von Triest (Adria)

Italien bezieht sich auf Triest

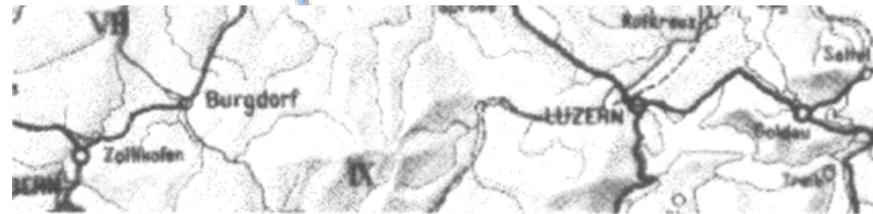
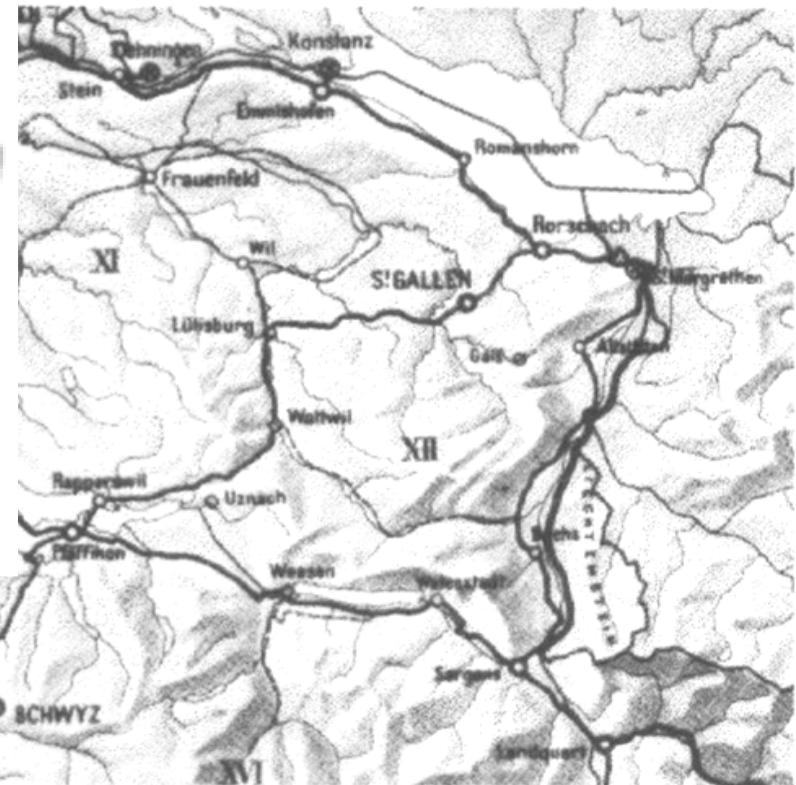
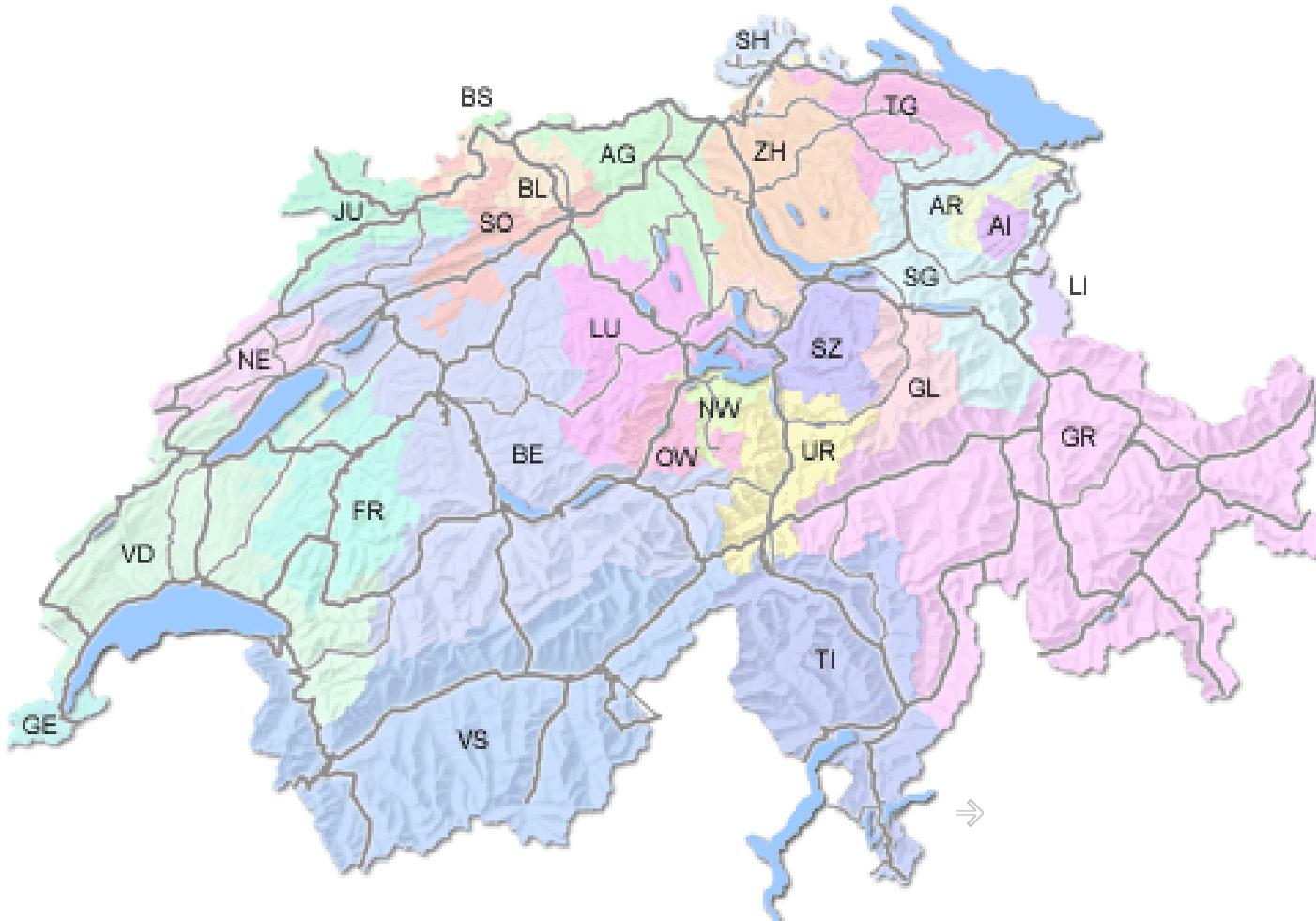
Die russische und andere osteuropäische Landesvermessungen auf den Wasserstand der Ostsee am Kronstädter Pegel in St. Petersburg.

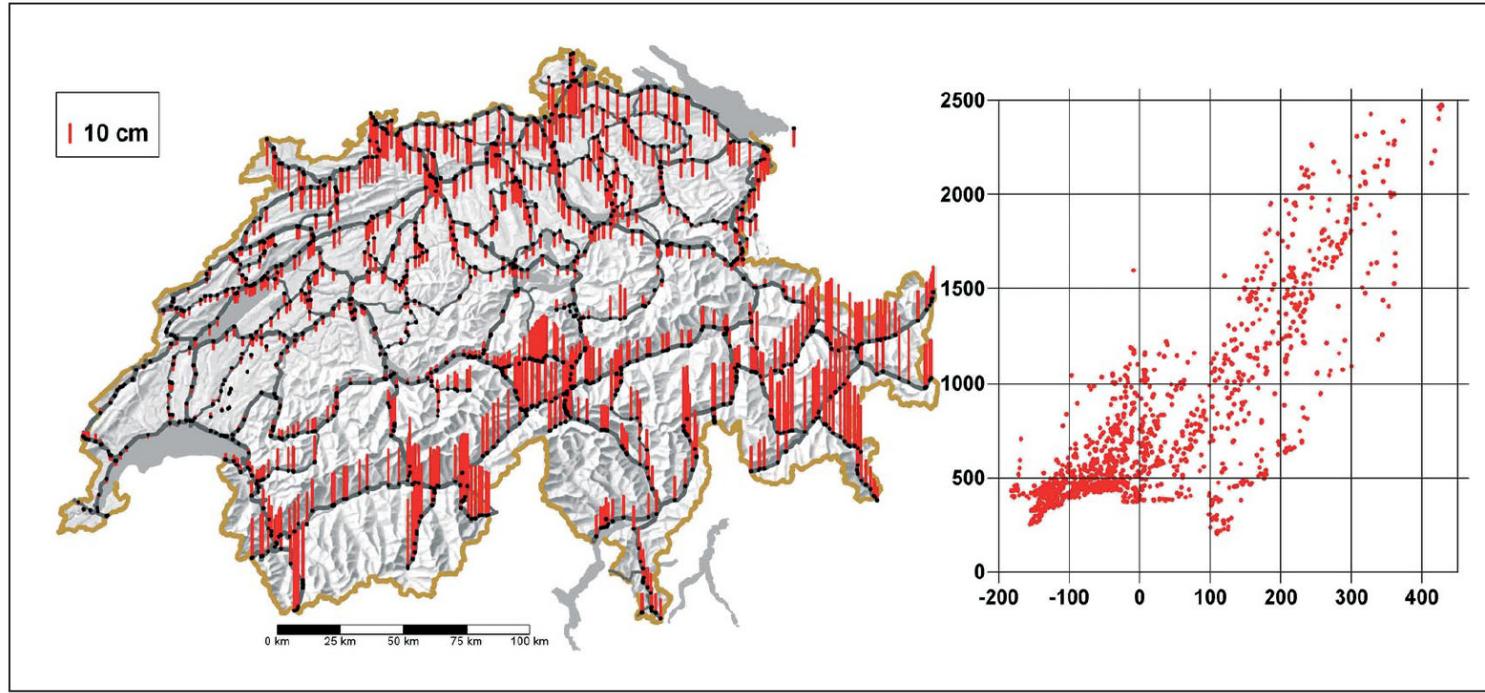
Heute: Station Zimmerwald



<http://www.swisstopo.admin.ch/internet/swisstopo/de/home/products/height.html>

Das Landesnivellement Schweiz (Ausschnitt)





Swisstopo

Differenzen zwischen LHN95 und LN02 auf 1430 Stützpunkten des LHN

Differenzen durch

- Messabweichungen, Systematiken
- LHN 02 basiert auf Normal Orthometrischen Höhen

Vermarkung der Höhenfixpunkte

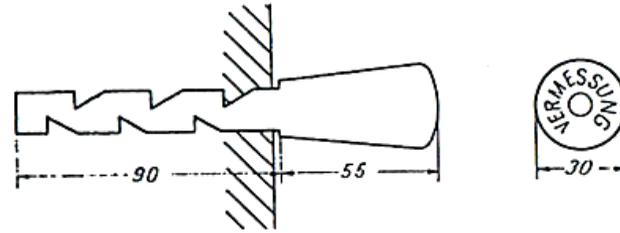
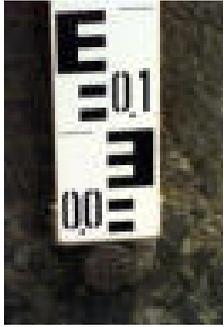


Abb. 7.2 Mauerbolzen (MB)

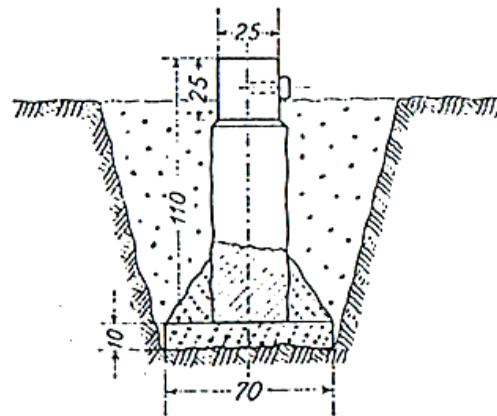


Abb. 7.3 Pfeilerbolzen (PB)

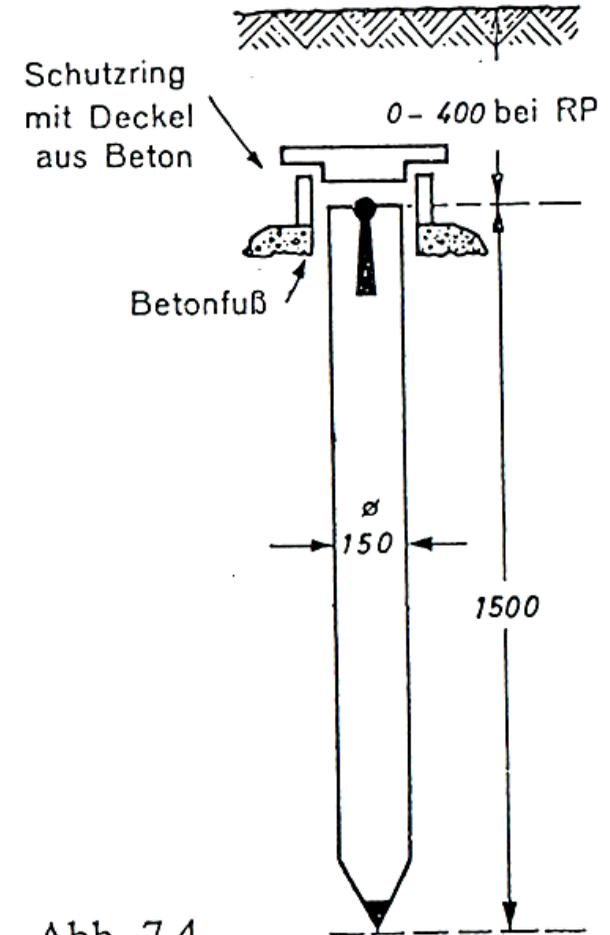
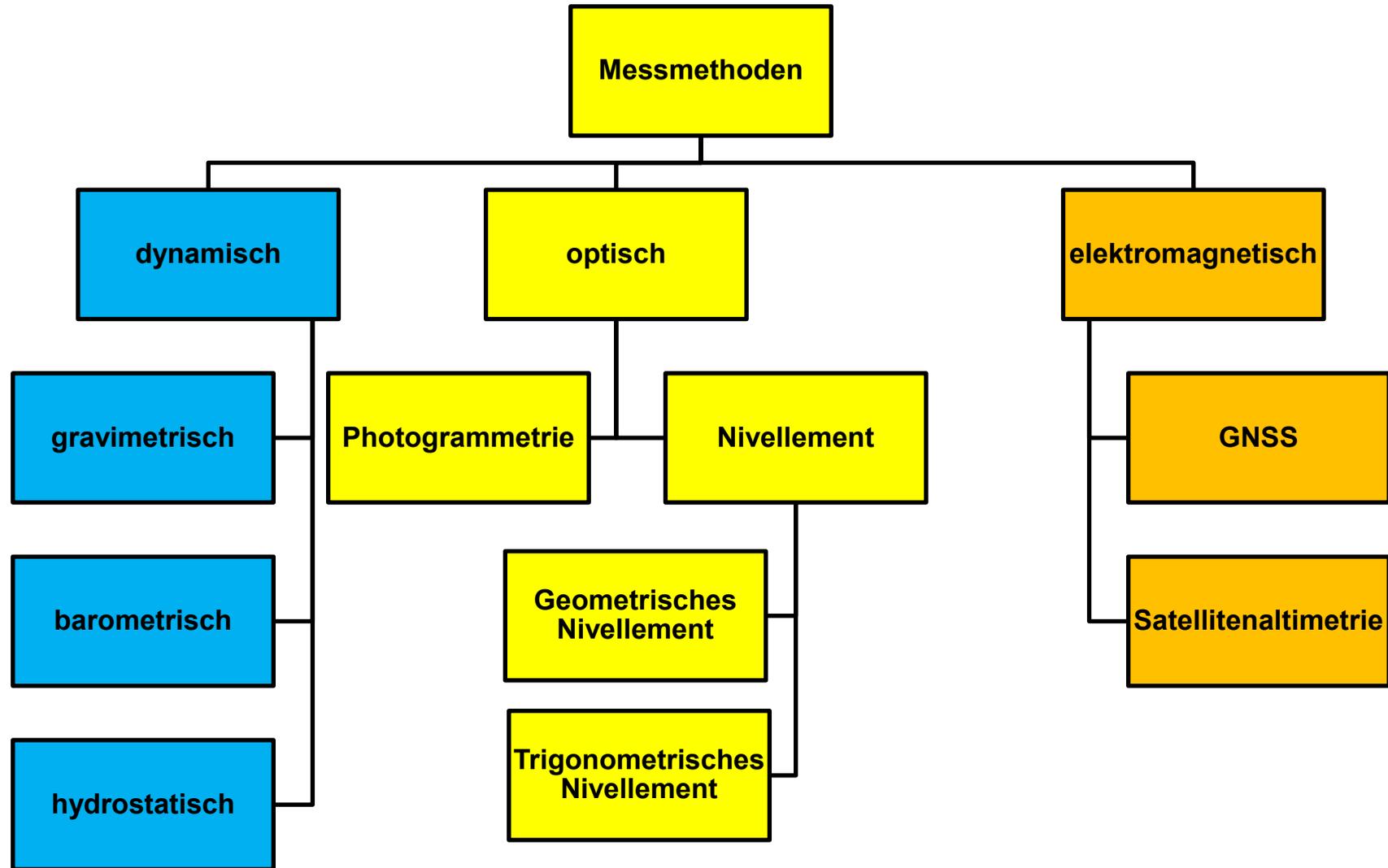


Abb. 7.4
Rammpfahlbolzen (RB)

Messmethoden in der Höhenbestimmung

Messmethoden zur Höhenbestimmung



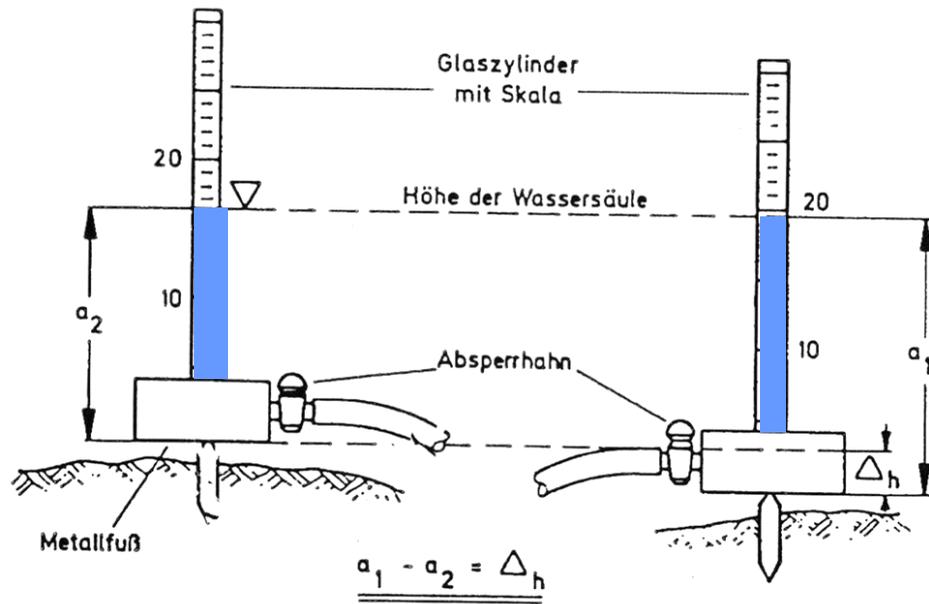
Dynamisch: Barometrische Höhenbestimmung



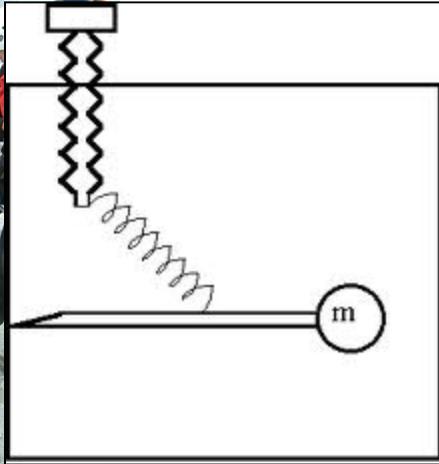
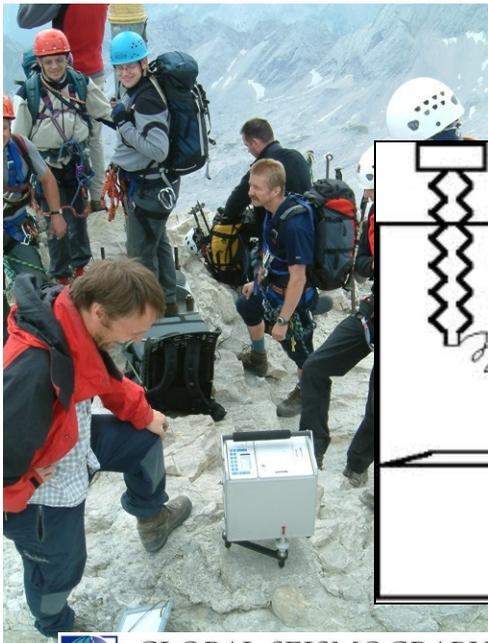
1 mbar (Hektopascal) entspricht ca. 10 m

Hydrostatische Messsysteme (Schlauchwaage)

Dynamisch



Dynamisch: Gravimetrie



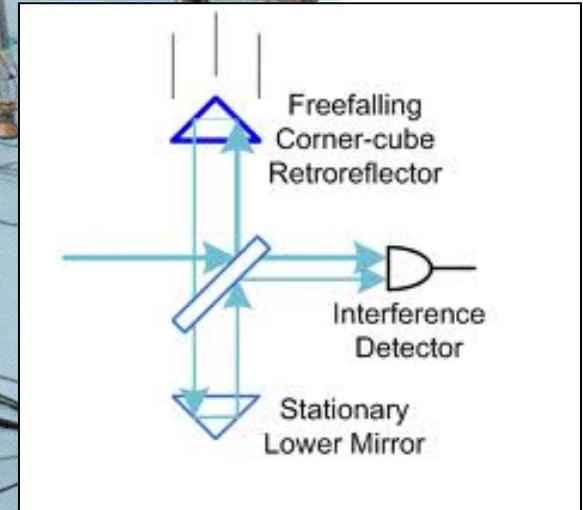
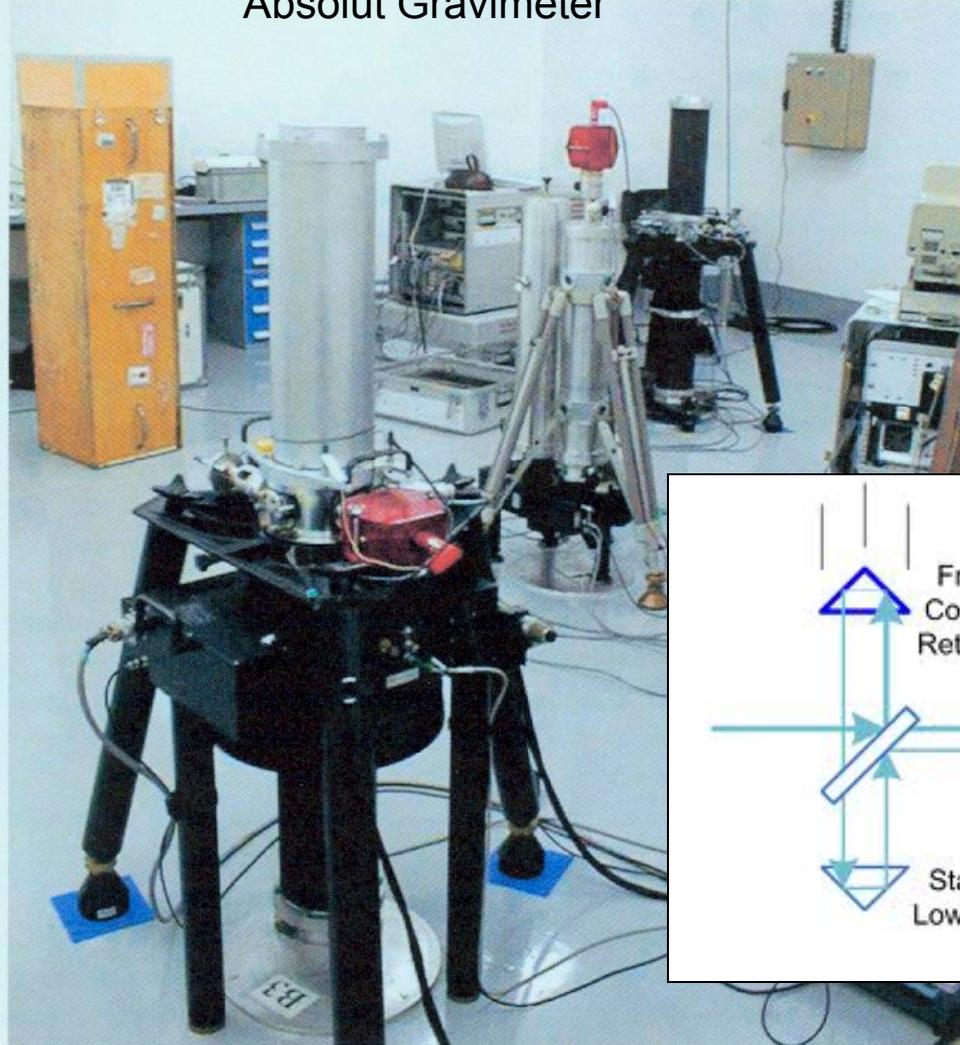
GLOBAL SEISMOGRAPHIC NETWORK

6/2009



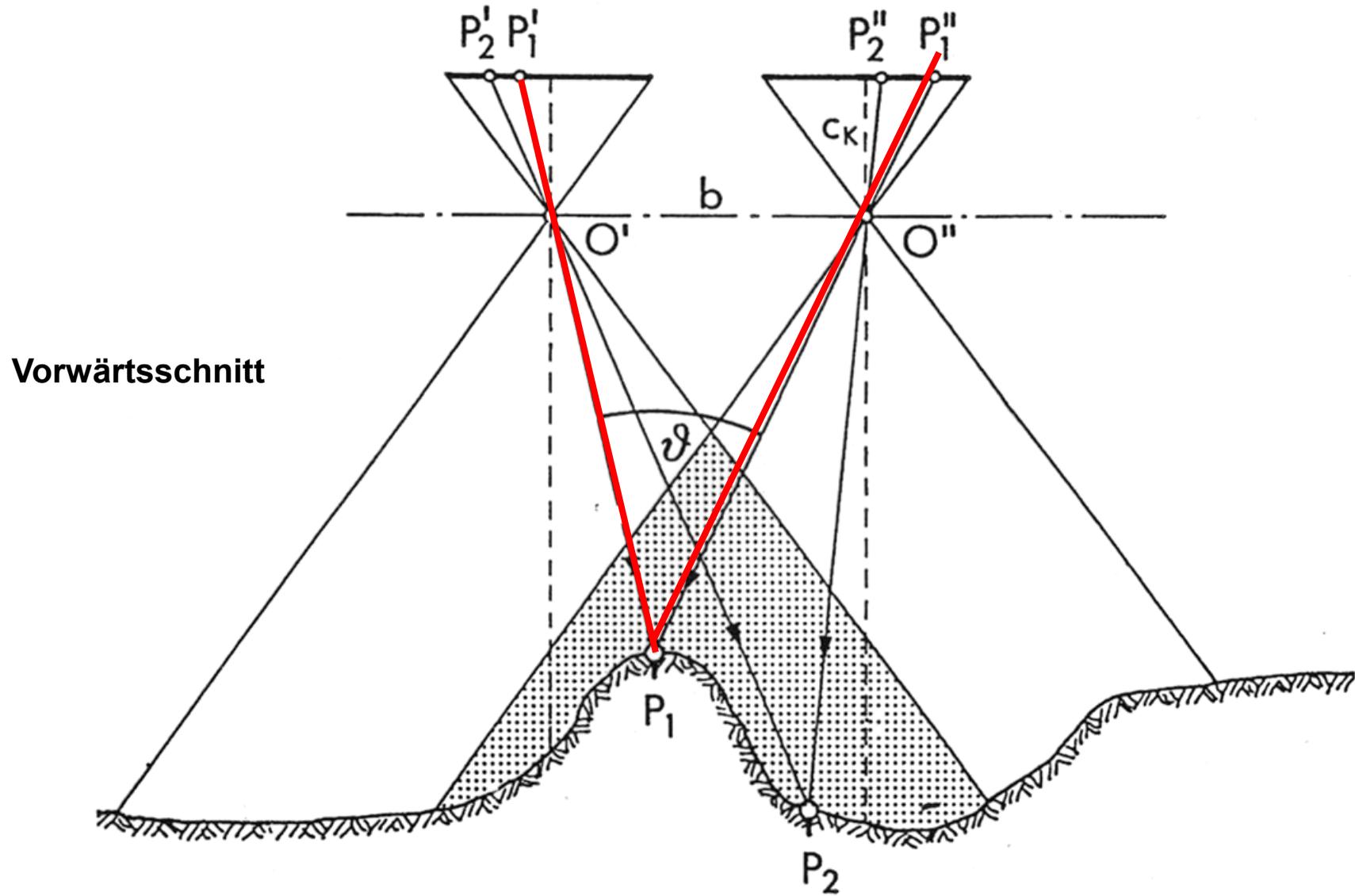
- ★ IRIS / IDA Stations
- ★ IRIS / USGS Stations
- ★ Affiliate Stations
- ★ Planned Stations

Absolut Gravimeter

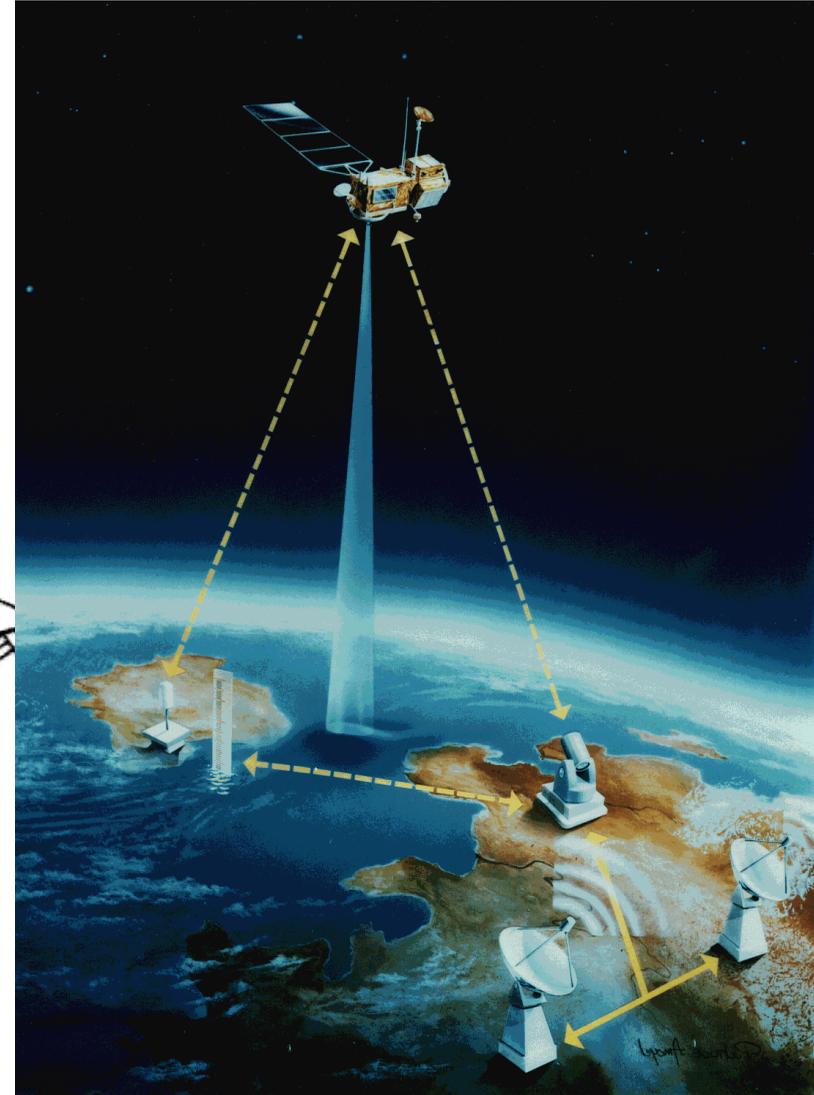
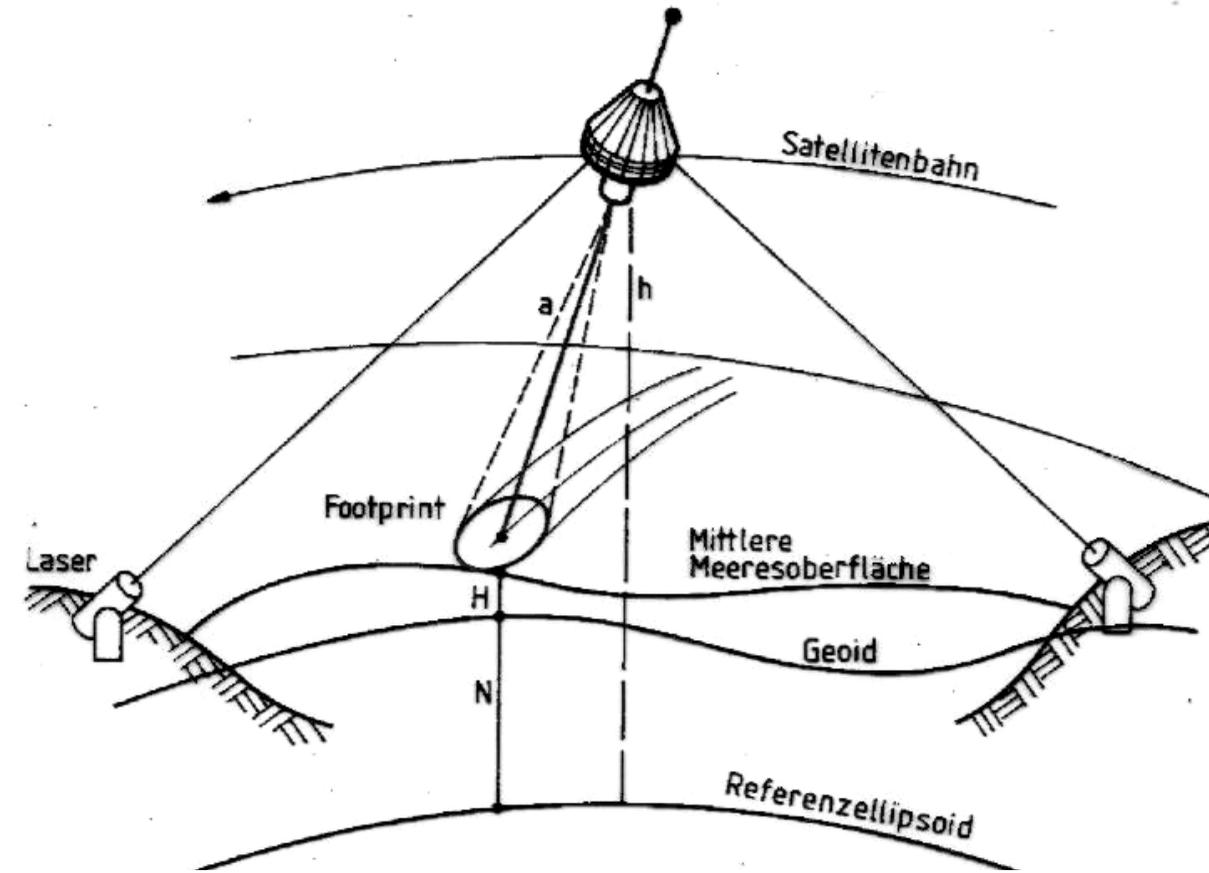


Deux gravimètres absolus de type FG5 et un gravimètre de type JILA en cours de mesure au BIPM.

Optisch: Höhenbestimmung mit Photogrammetrie



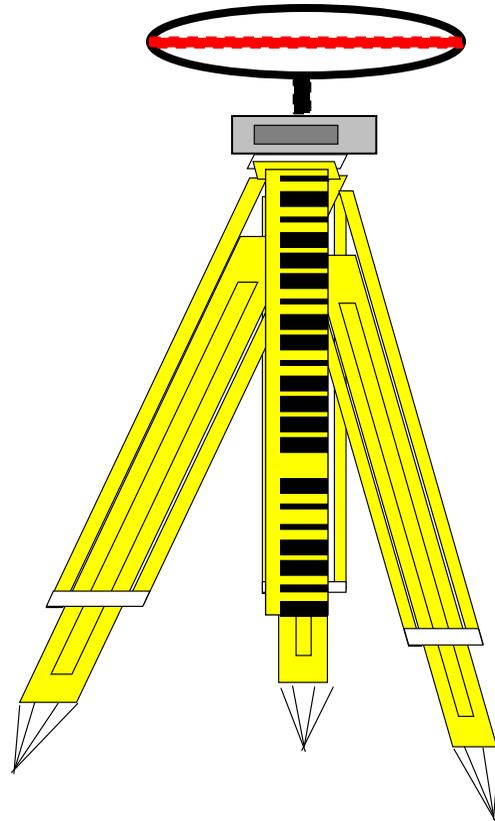
Optisch: Satellitenaltimetrie_Bestimmung der Meeresoberfläche



GNSS Messung



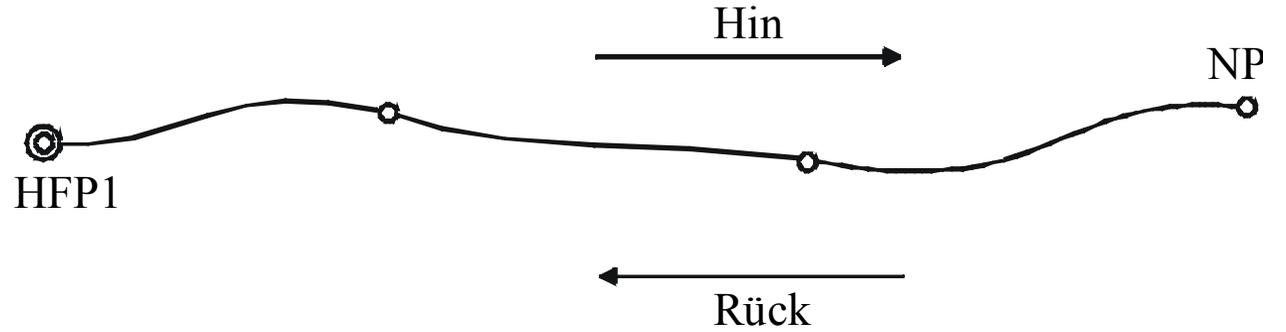
Kombination GNSS und geometrisches Nivellement (IGN)



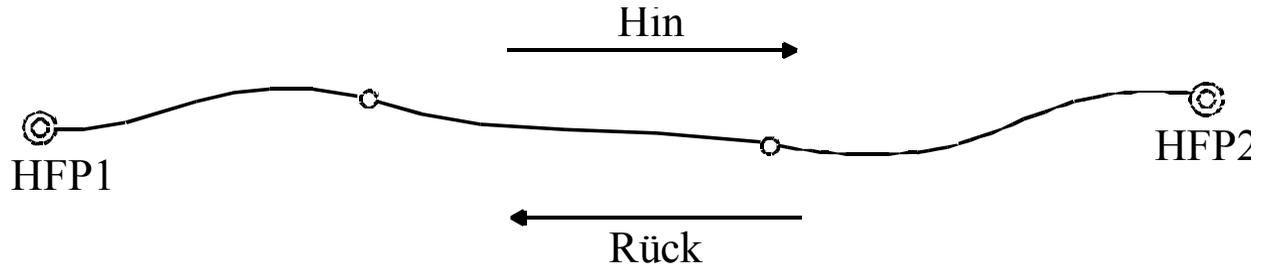
Nivellementsarten und Auswertung

Nivellementszüge

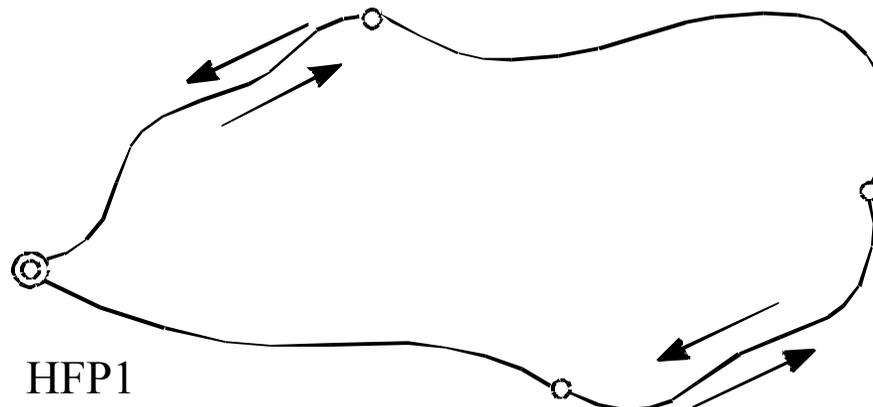
Freier Zug



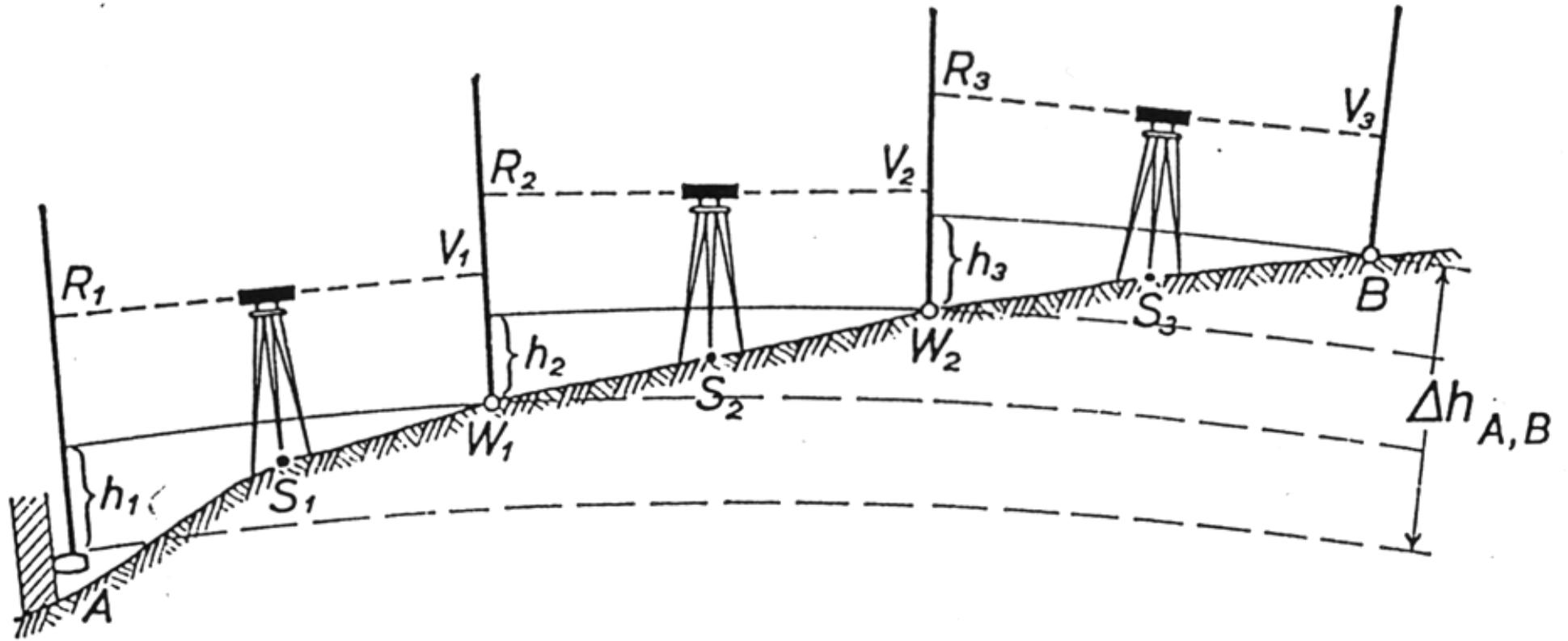
Eingehängter Zug



Nivellementschleife



Nivellement und Geoid



Präzisionsnivellement

Präzisions- Digitalnivelliere
Invarlatten
Messmethodik/Messablauf
Stör-Einflüsse

Das Präzisionsnivellement: Besonderheiten

- Genauigkeit: $s < 0,4\text{mm/ Km}$ Doppelnivellement
- Messausrüstung: Präzisionsnivellier
zwei Invarlatten mit Zentrierringen
- Messablauf: RVVR/VRRV (selten RRVV) → Standpunktkontrolle
- Messanordnung: Streng aus der Mitte oder
 Σ Rückblickdistanzen = Σ Vorblickdistanzen
Vorerkundung notwendig
Visurlänge 30- max 40 m
Keine Visuren unter 50 cm Bodenhöhe
bei Digitalnivellieren Ablesungen bis max 30 cm
unter bzw. über Lattende

Präzisionsnivelllement_Messausrüstung_Invarlatten

310	—	58
358	—	56
356	—	54
354	—	52
352	—	50
350	—	48
348	—	46
346	—	44
344	—	42
342	—	40
340	—	38
338	—	36
336	—	34
334	—	32
332	—	30
330	—	28
328	—	26
326	—	24
324	—	22
322	—	20
320	—	18
318	—	16
316	—	14
314	—	12
312	—	10
310	—	8

Doppelteilung bei optischen Nivellieren mit Planplattenmikrometer

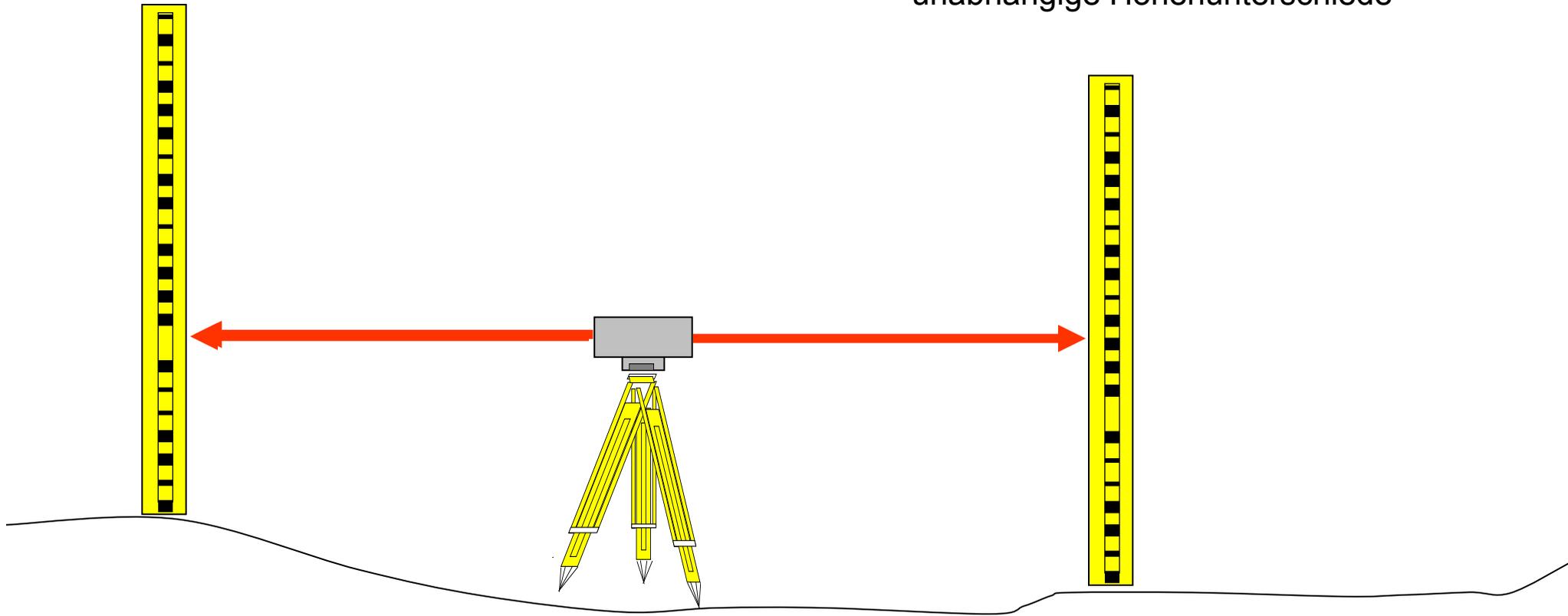


Invarlatten repäsentieren einen mobilen Massstab



Beobachtungsreihenfolge RVVR

Bei Doppelteilungslatten
R1,V1,V2,R2 → zwei quasi
unabhängige Höhenunterschiede



Protokoll (früher)

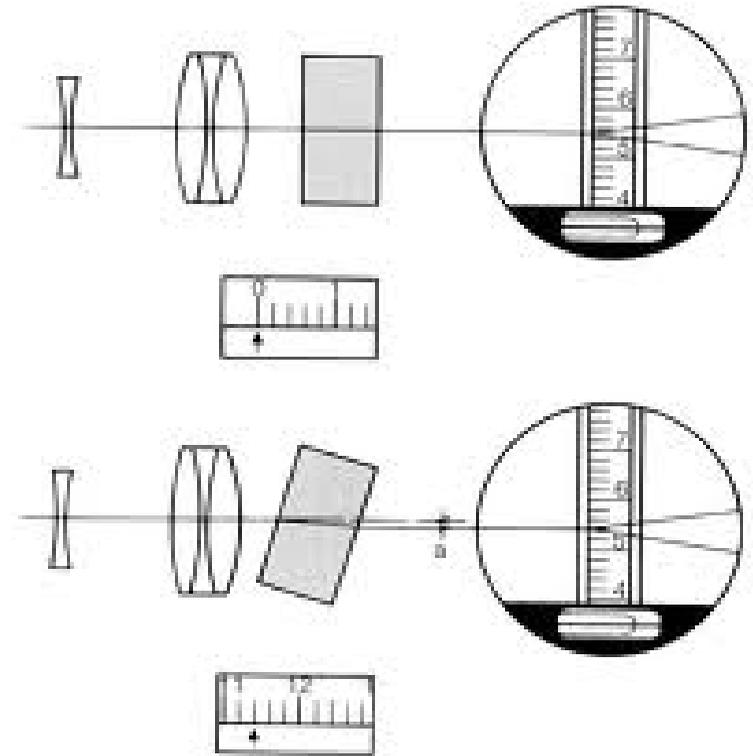
Punkt-Nr.	Latten-Nr.	Lattenablesungen [cm]								Berechnung					
		1. Durchlauf				2. Durchlauf				Δ h [cm]					
		R1		V1		V2		R2		R1 - V1	R2 - V2	Mittel aus I.+II. Abl.	Δ h =		
(R)	(R)	R1 (I. Ables.)		V1 (I. Ables.)		V2 (I. Ables.)		R2 (I. Ables.)							$\frac{(R1-V1)+(R2-V2)}{2}$
(V)	(V)	R1 (II. Ables.)		V1 (II. Ables.)		V2 (II. Ables.)		R2 (II. Ables.)							
N 2096	1049	278	654	26	730	26	733	278	652	+	251	925	-	251	924
A1	1050		658		732		731		655	+	251	922			

Standpunktkontrolle

$$(R1-V1)-(R2-V2) < 0,020\text{mm}$$

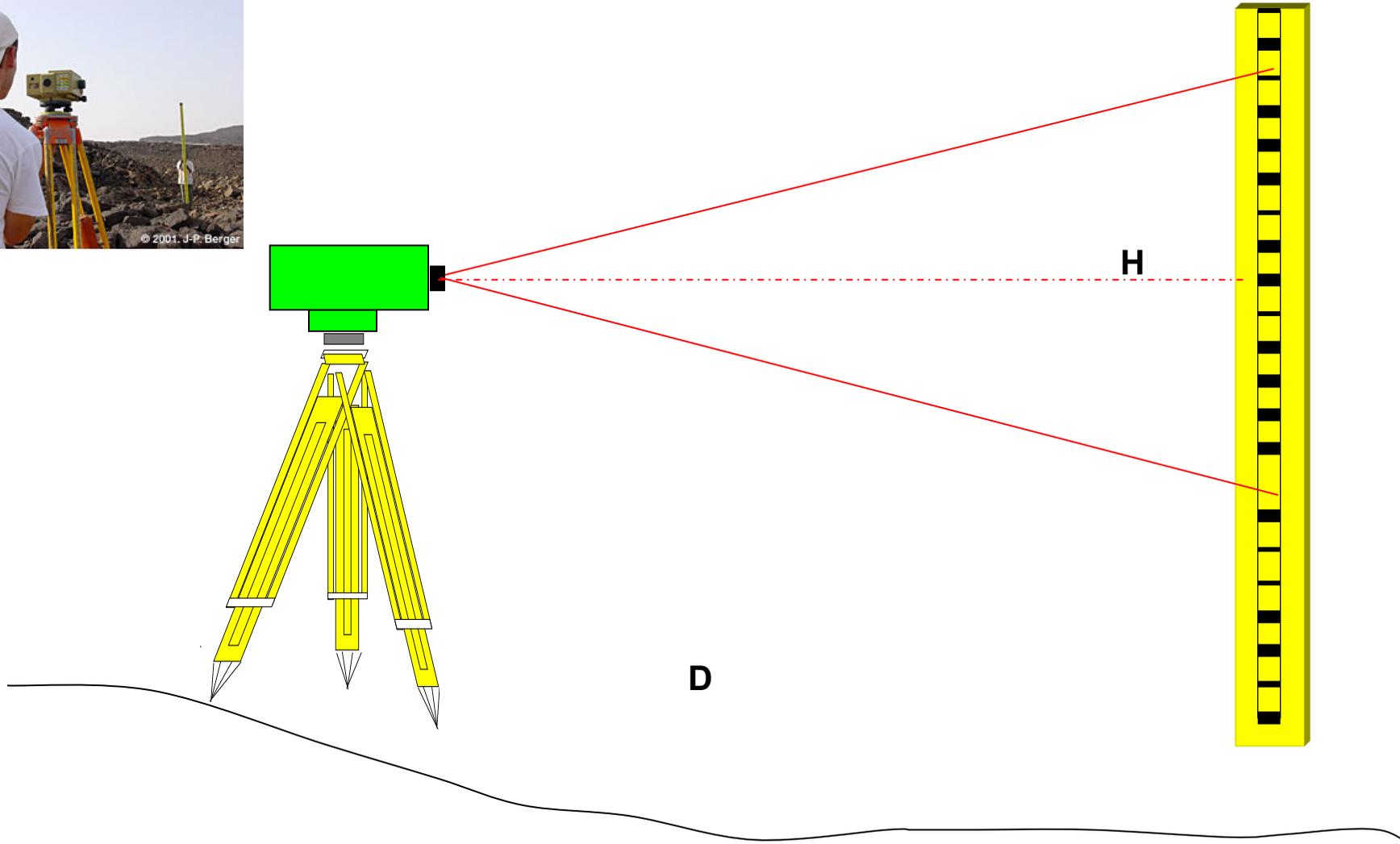
Automatische Nivelliere: Analog

	LEICANA2
Typ	Präzisionsnivellier (analog)
Genauigkeit (1 km Doppelnivelliert)	0,3mm (mit Planplattenmikrometer)
Vergrößerung	32x
Kompensator Einspielgenauigkeit	0,3°
	



Präzisionivellement mit Digitalnivellieren

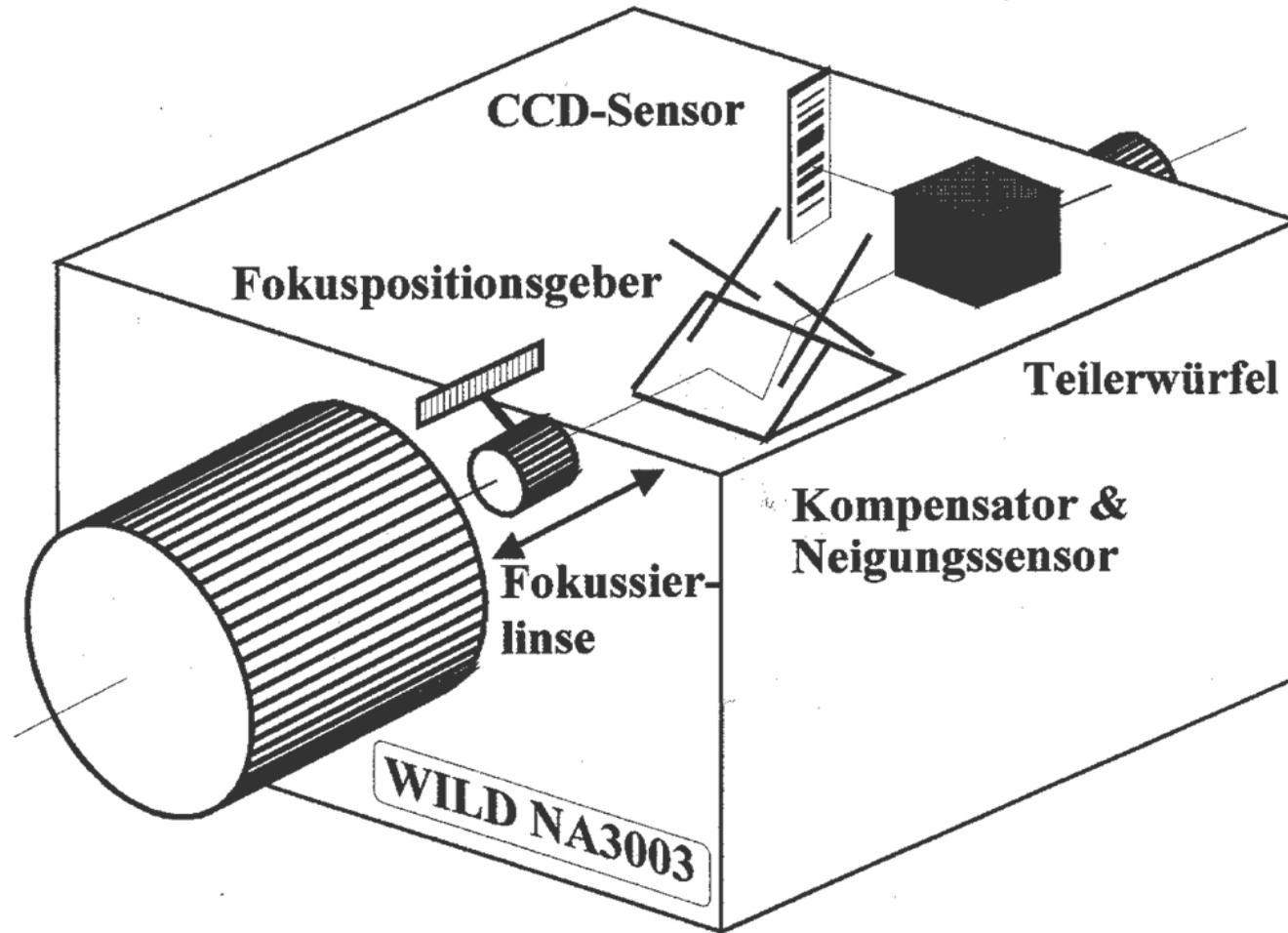
Grundprinzip des Digitalen Nivellierens



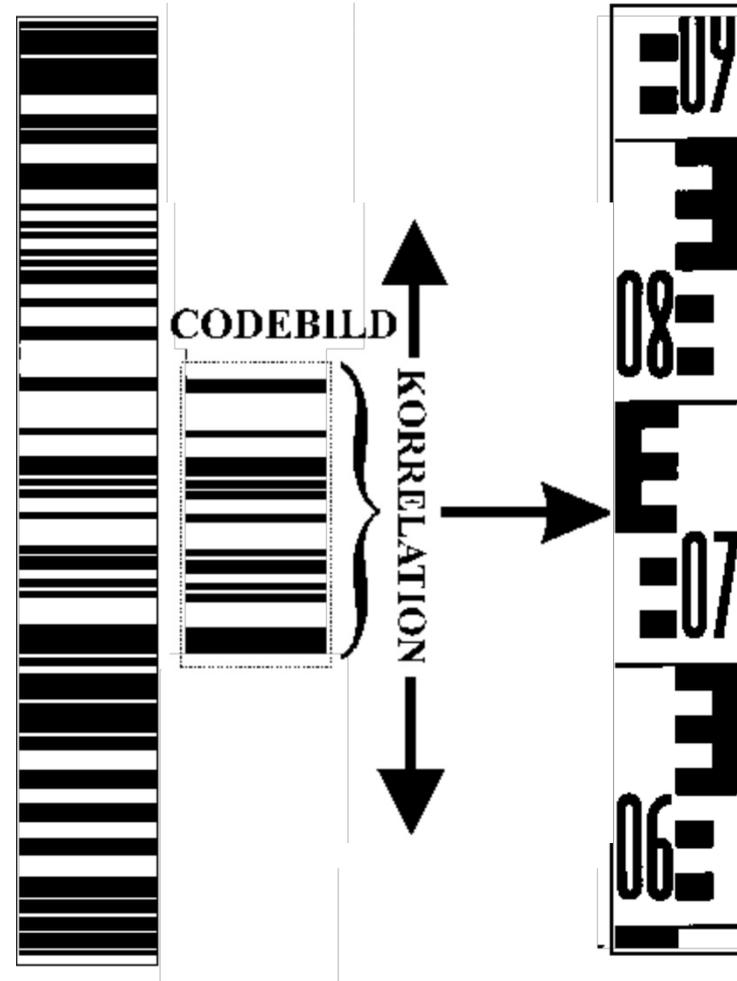
Präzisions-Digitalnivelliere

Typ	Leica DNA03	Trimble DiNi	Sokkia
Genauigkeit	0,3 mm	0,3 mm	0,2 mm
1Km Doppelnivellement			
Besonderheiten	<i>Bildfeld 2° (90 cm / 25 m)</i>	<i>Konstantes Bildfeld (30 cm)</i>	<i>Autofokus Superinvarlatten</i>
			

Prinzipieller Aufbau eines Digitalnivelliers



Höhenablesung durch Korrelation (Leica)



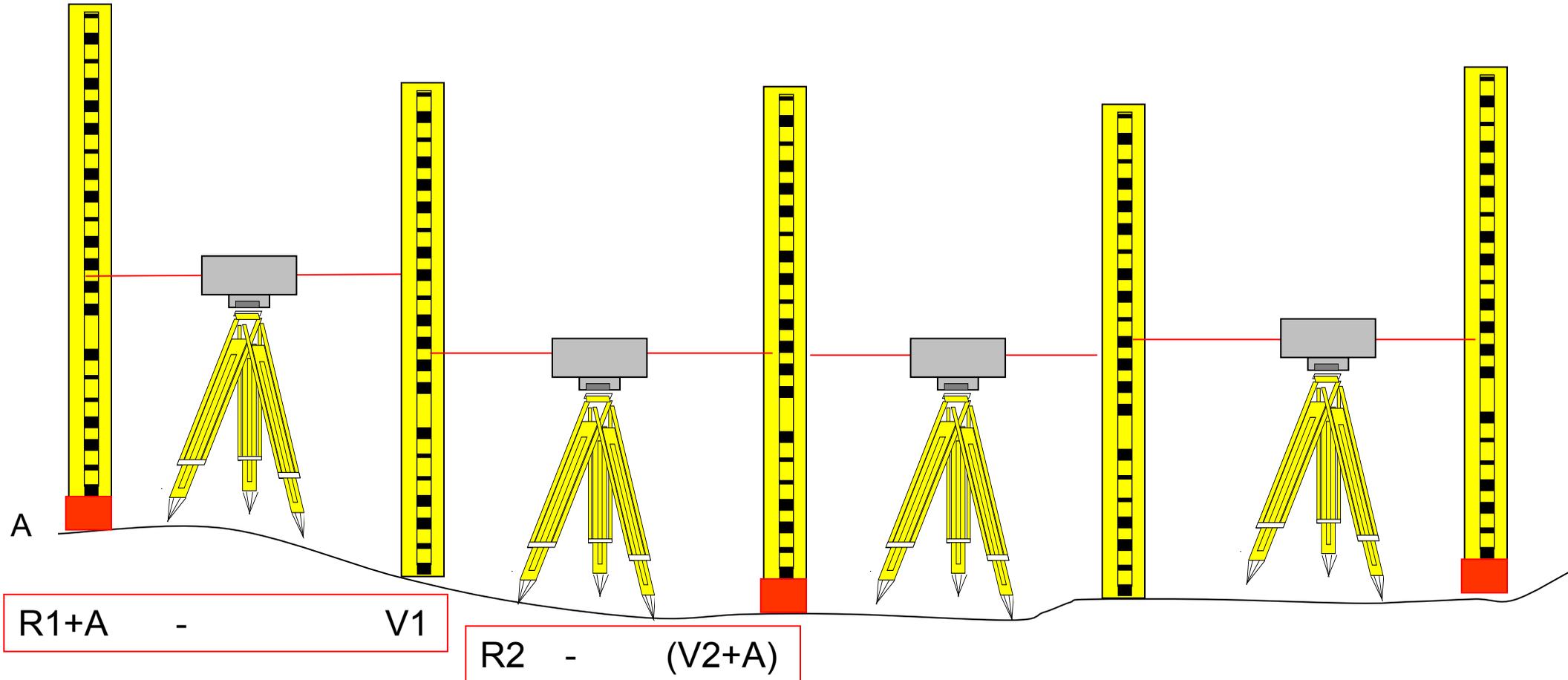
„Fehler“quellen und ihre Elimination

- Lattenmassstab
- Lattennullpunktabweichung
- Lattenfusssschiefe
- Lattenschiefe durch dejustierte Dosenlibelle
- Horizontschräge
 - Kompensatoreinspielabweichung
 - Dejustierte Ziellinie
- Einsinken von Instrument und/oder Latten
- Umwelteinflüsse Refraktion, Szintillation, Beleuchtung

Lattenmassstab

- Der Lattenmassstab kann nur durch eine Komparierung bestimmt werden (z.B: im Messlabor IGP-ETHZ).
- Er muss gemäss ISO Normen eingehalten werden
- Kann sich durch Temperatur (leicht) ändern
- Ausdehnungskoeffizient von Invar beträgt 0,6-1 ppm

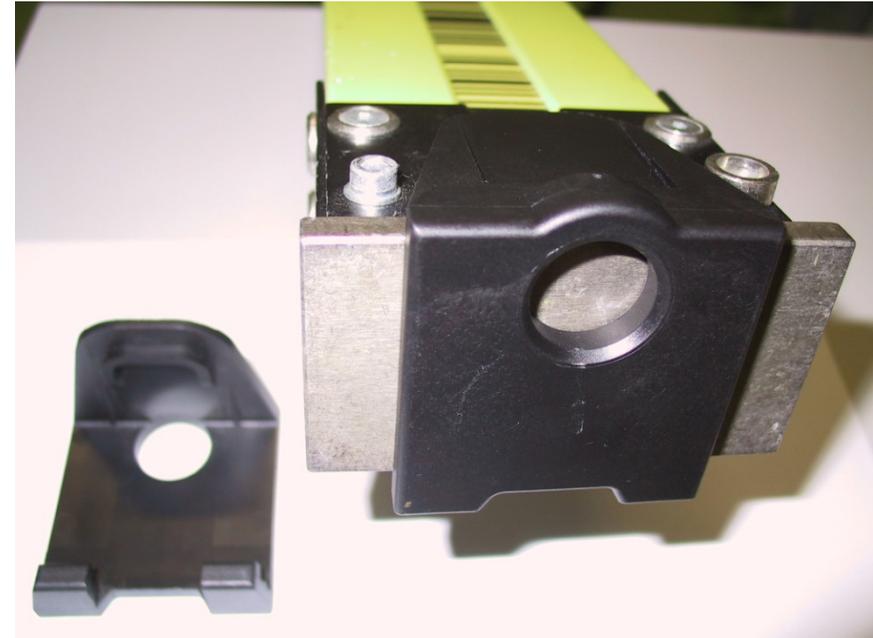
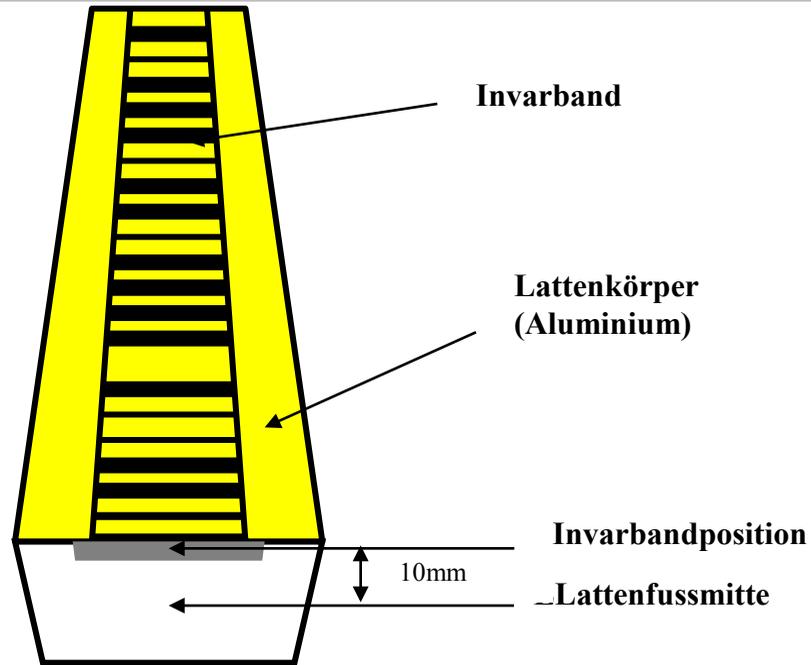
Einfluss Lattennullpunkt und Elimination durch Messanordnung



Lattennullpunktabweichung Elimination

- Um eine Differenz der Lattennullpunktabweichungen zwischen den beiden Nivellement-Latten auszuschalten, sollte bei der Rekognoszierung eine **gerade Anzahl** Instrumentenstandpunkte zwischen den Kontroll- bzw. Fixpunkten angestrebt werden. Denn in diesem Fall schliesst das Nivellement mit derjenigen Latte ab, mit der man auf dem Nivellementfixpunkt begonnen hat.
- Eine andere Möglichkeit, um die Differenz der Lattennullpunktabweichungen zu eliminieren, besteht darin, dass nach dem Hin-Nivellement die **Latten auf dem Rückweg vertauscht** werden. Durch die Mittelung der Höhendifferenzen aus Hin- und Rücknivellement wird somit die Differenz der Lattennullpunktabweichungen beseitigt.

Lattengeometrie und Aufstellungsproblematik



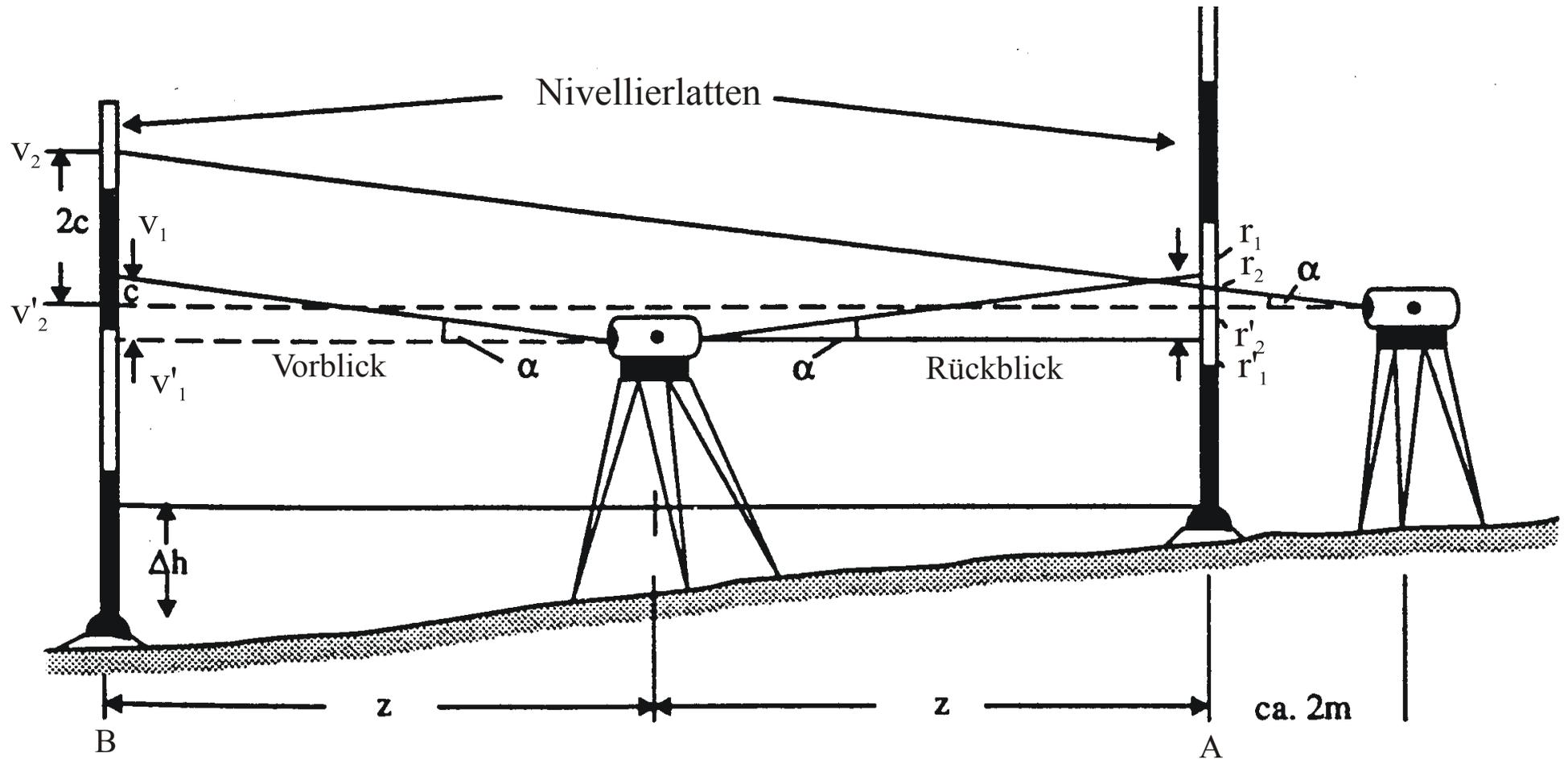
Anmerkung: Die Senkrechtstellung der Latten ist von Bedeutung, da bei den heute verwendeten Nivellierlatten der Firma Nedo, Dornstetten, das Invarband exzentrisch in den Lattenkörper eingebaut ist. Normalerweise werden zum eindeutigen Aufsetzen der Latte auf dem Höhenbolzen sogenannte Zentrierringe eingesetzt. Damit wird auf jeden Fall eine systemtische Höhenabweichung aufgrund einer Schrägstellung der Nivellierlatte oder einer Lattenfusssschiefe vermieden [Resnik,1996].

Die Verwendung von Zentrierringen ist daher für weitere Messungen zu empfehlen, sofern es die Aufstellpunkte zulassen.

Spezielle Justierverfahren beim Präzisionsnivellement

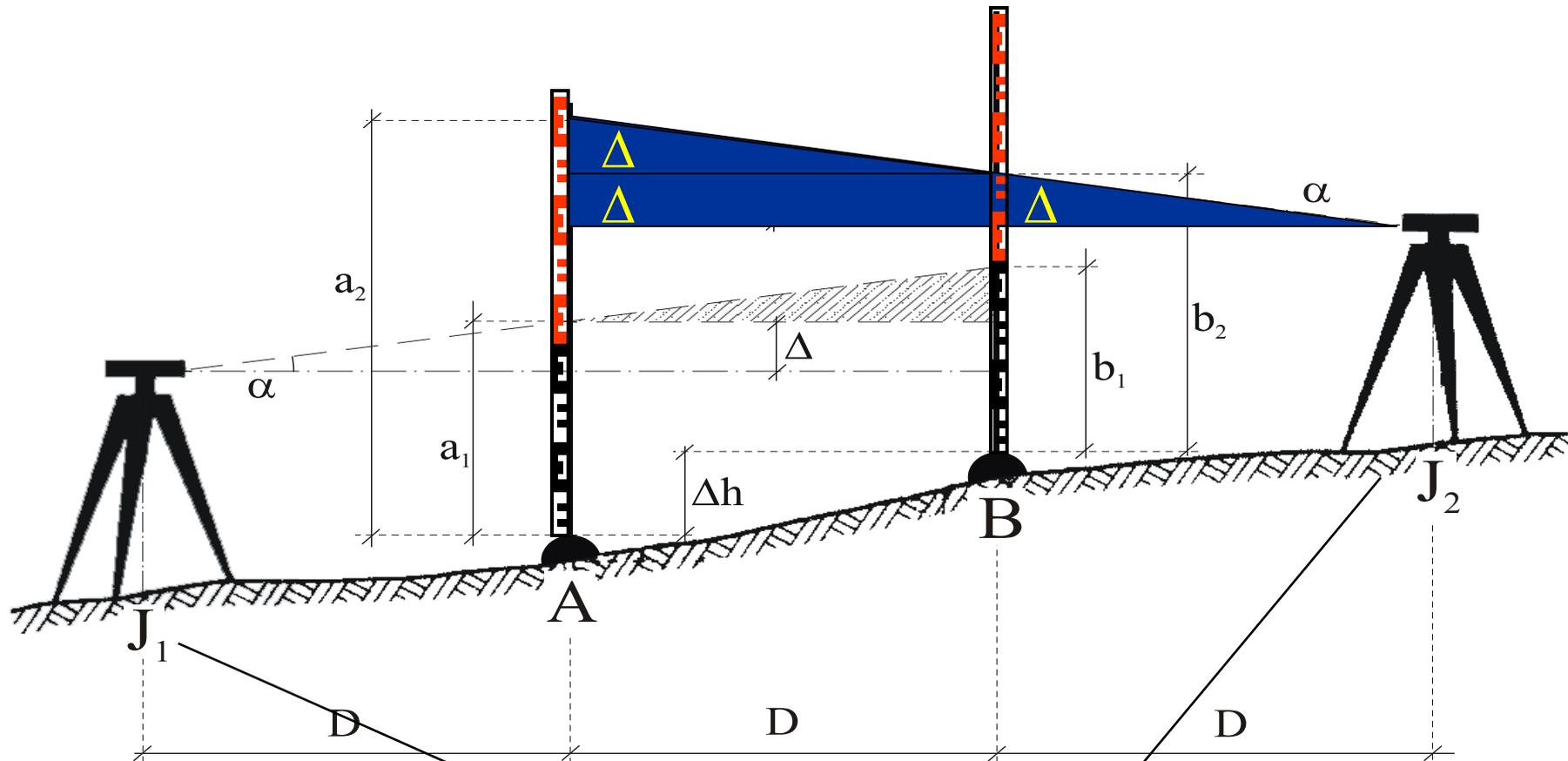
Elimination der Fokusablaufabweichung

Nivellierjustierung „Aus der Mitte“



Nachteil: extreme Umfokussierung

Justierung nach Näbauer

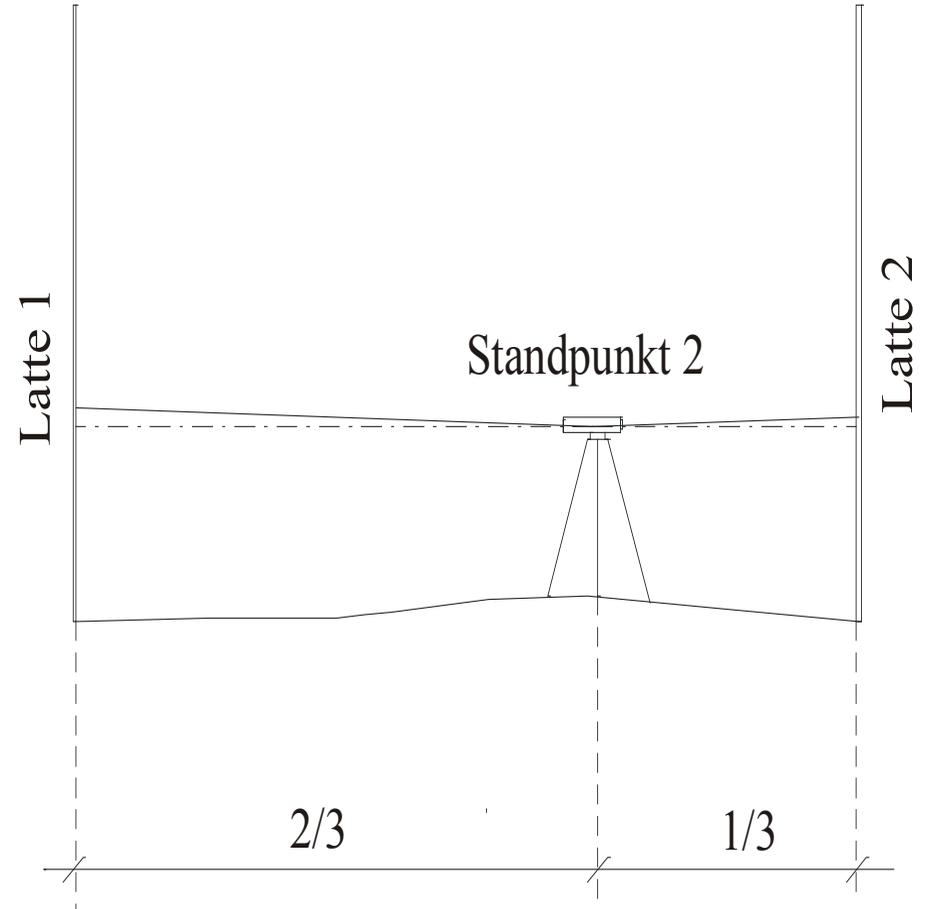
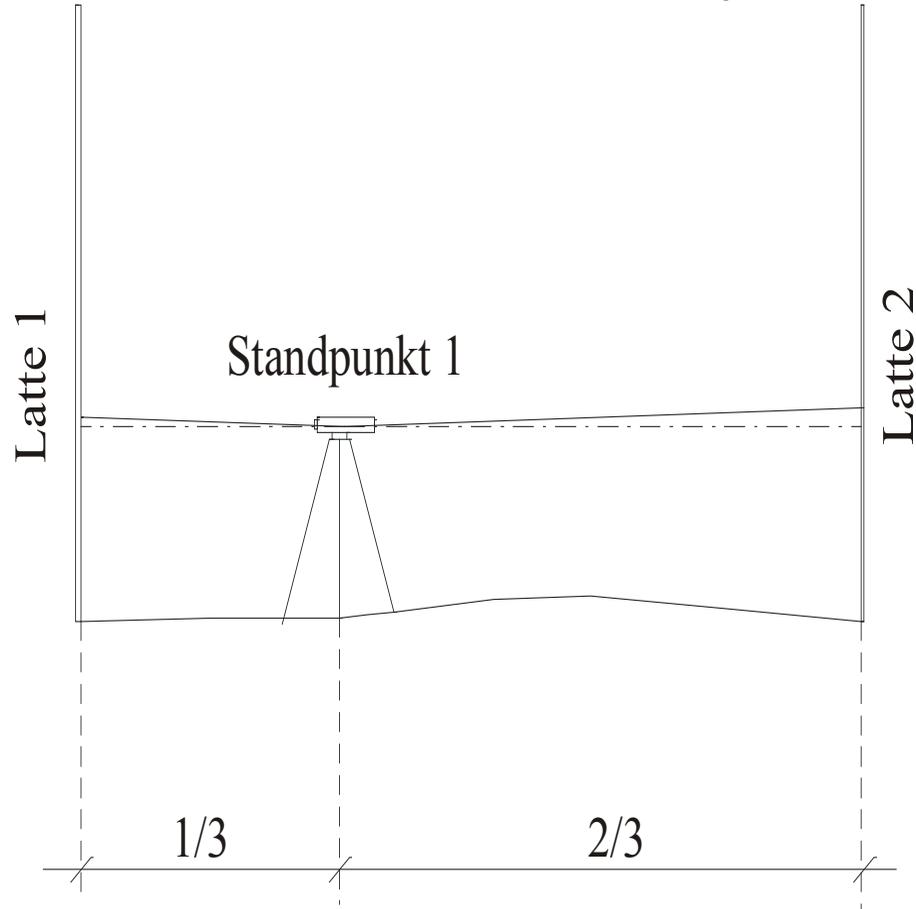


$$\Delta h = (a_1 - \Delta) - (b_1 - 2\Delta) = (a_2 - 2\Delta) - (b_2 - \Delta).$$

Sollablesung auf J₂ $a_2 = a_1 - b_1 + 2\Delta + b_2$

Justierung nach Förstner

Wie Nähbauer, jedoch zwischen den Latten

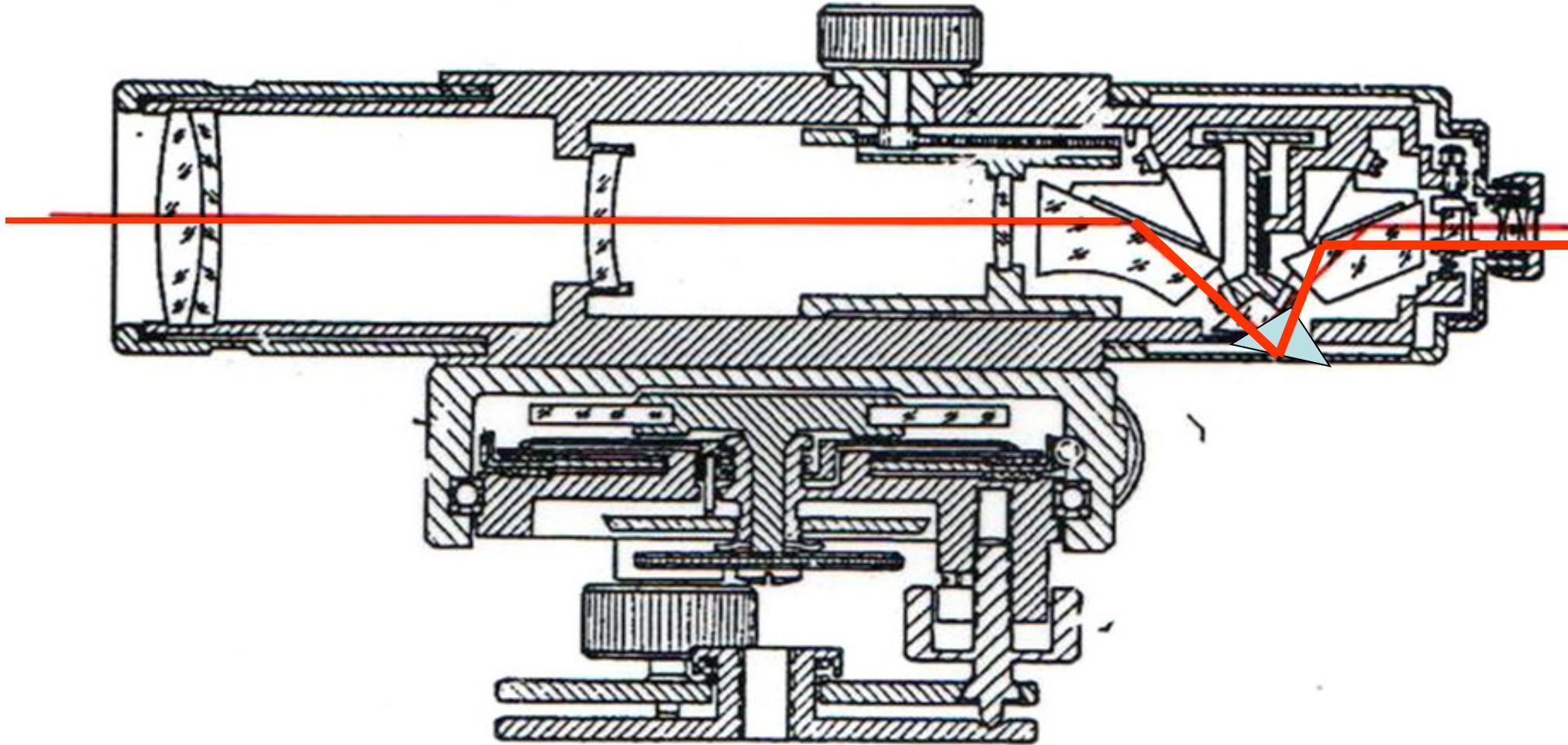


Elimination der Kompensatorabweichungen

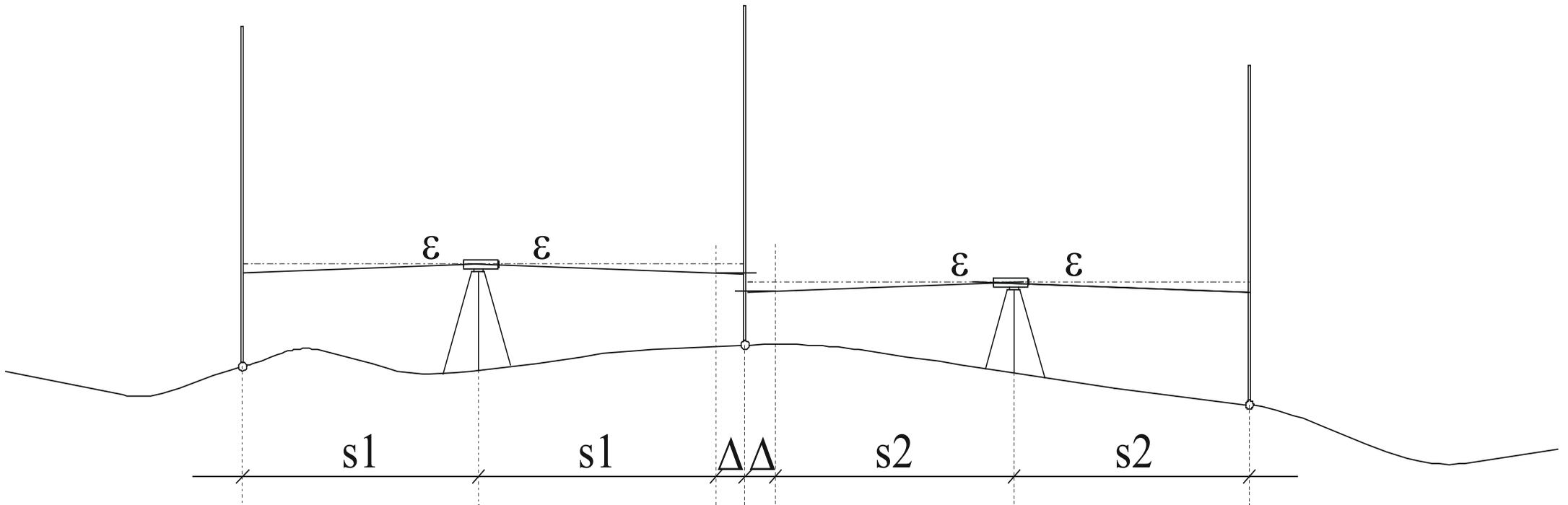
Kompensatoreinspielabweichung

Kompensatorrestabweichung (Horizontschräge)

Kompensatornivellier gilt auch für Digitalnivelliere

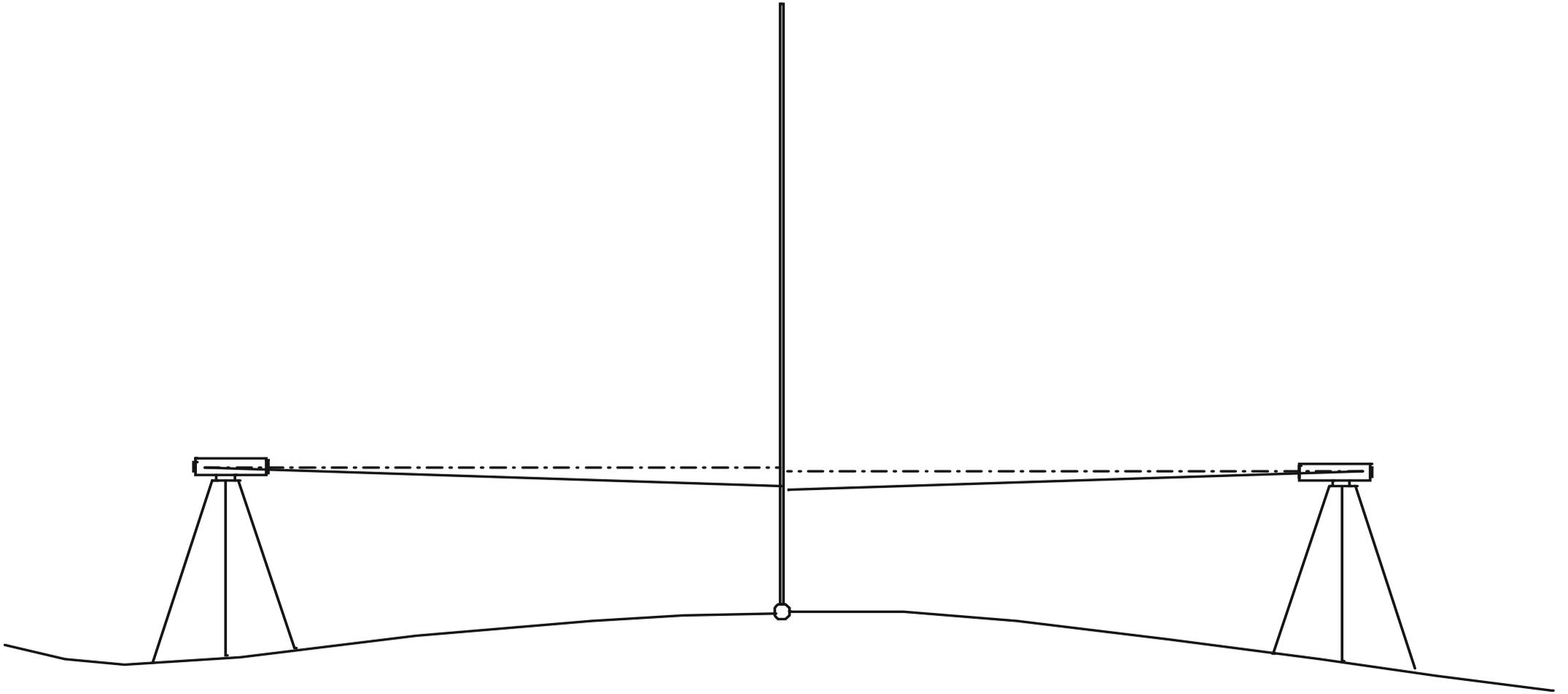


Resthorizontschräge und ihre Elimination



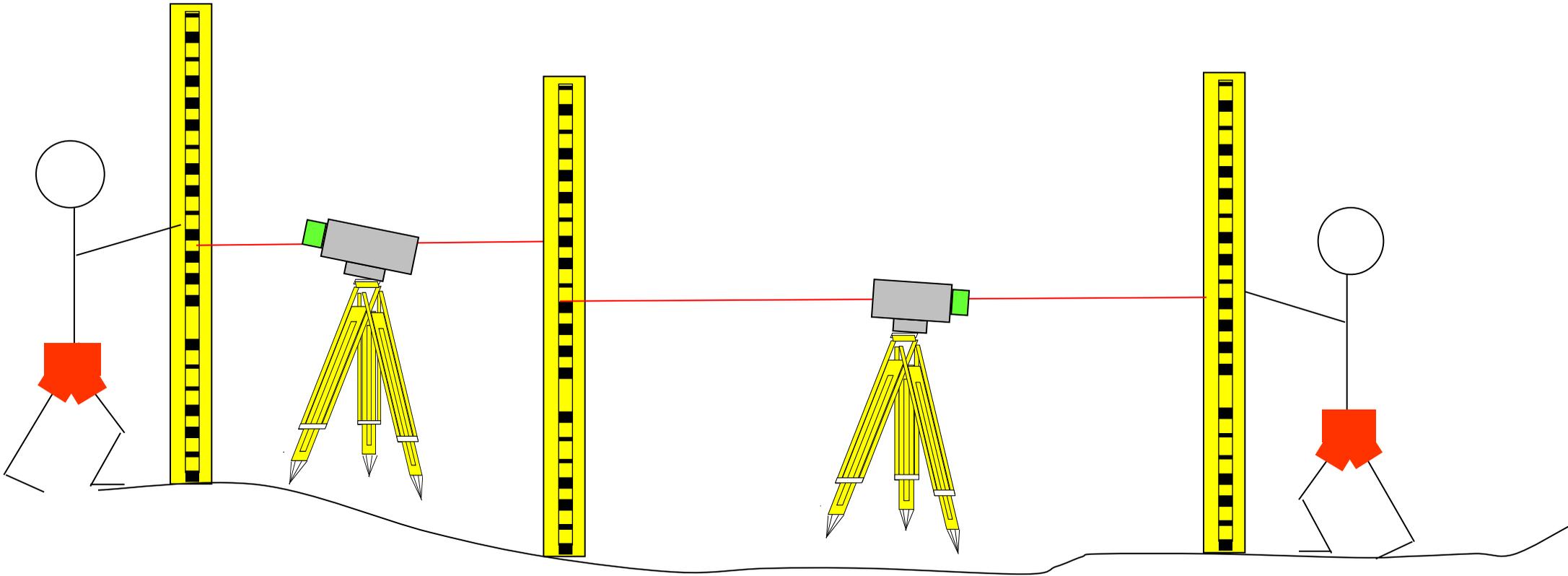
Σ Rückblickdistanzen = Σ Vorblickdistanzen

Kompensatoreinspielabweichung und ihre Elimination



Einfluss: Einspielabweichung Horizontschräge

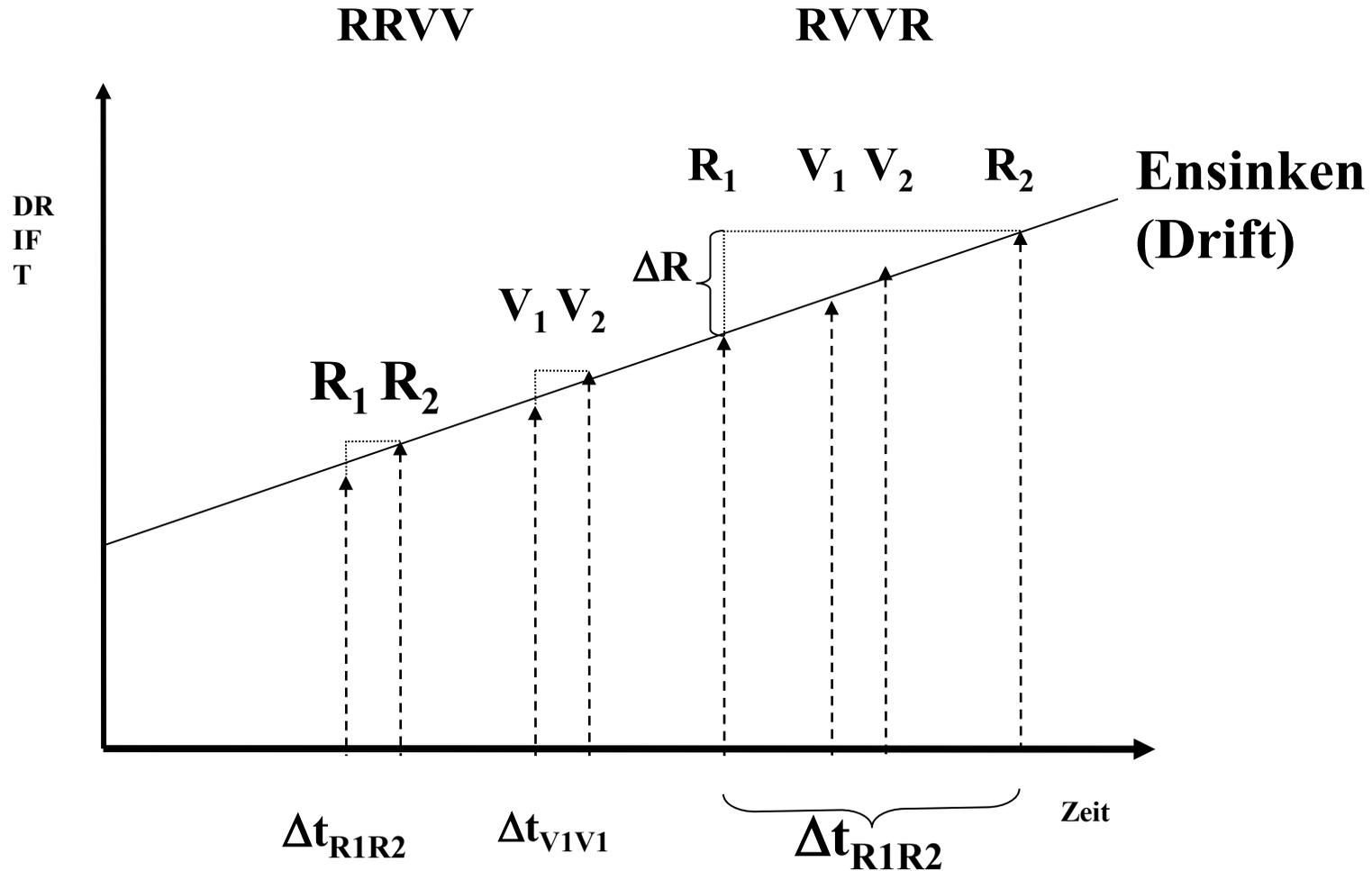
Verfahren "Rote Hose"



Einsinkeffekte Nivellier und Latte

Kontrolle durch RVVR

Drift und Messzeitpunkte bei der Methode RRVV und RVVR



Einsinken der Latten: Fussplatte der L&T

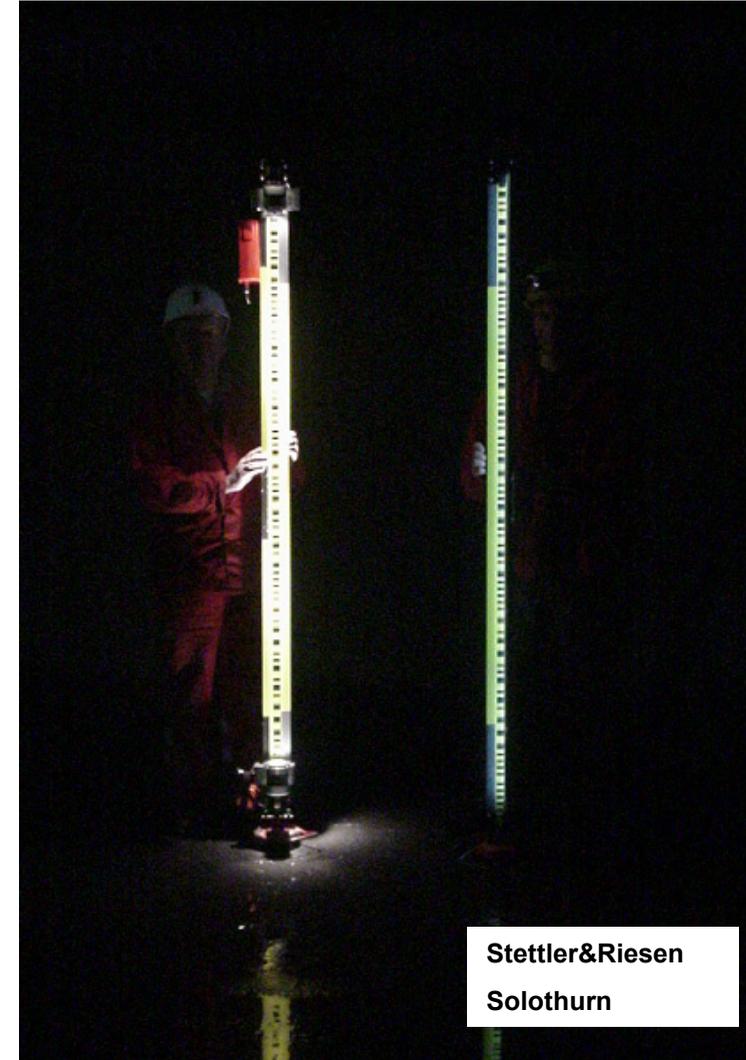


Beleuchtungsproblematik bei Digitalnivellieren

Schlagschatten auf der Nivellierlatte

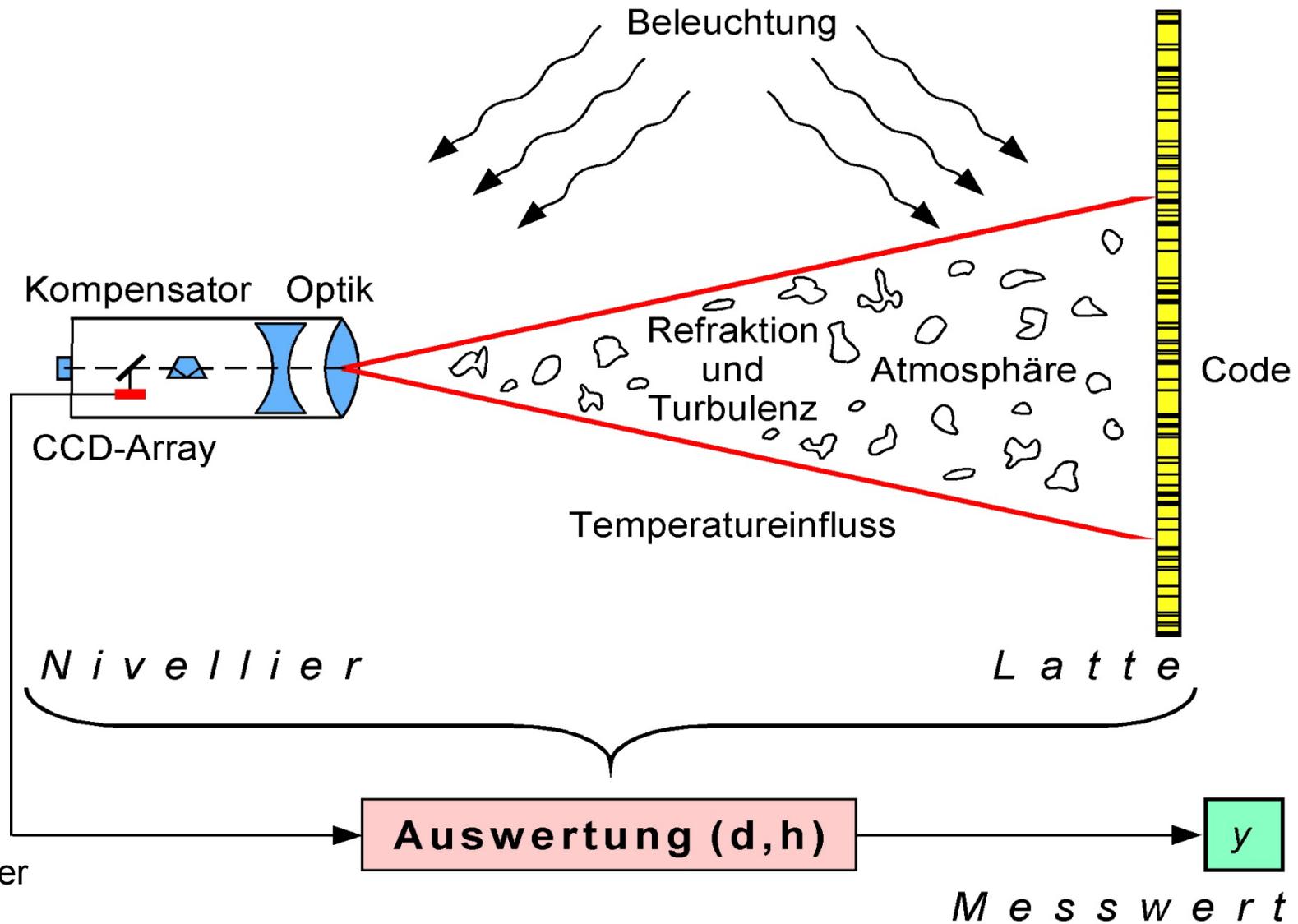


Beleuchtete Nivellierlatten (Stettler & Riesen)



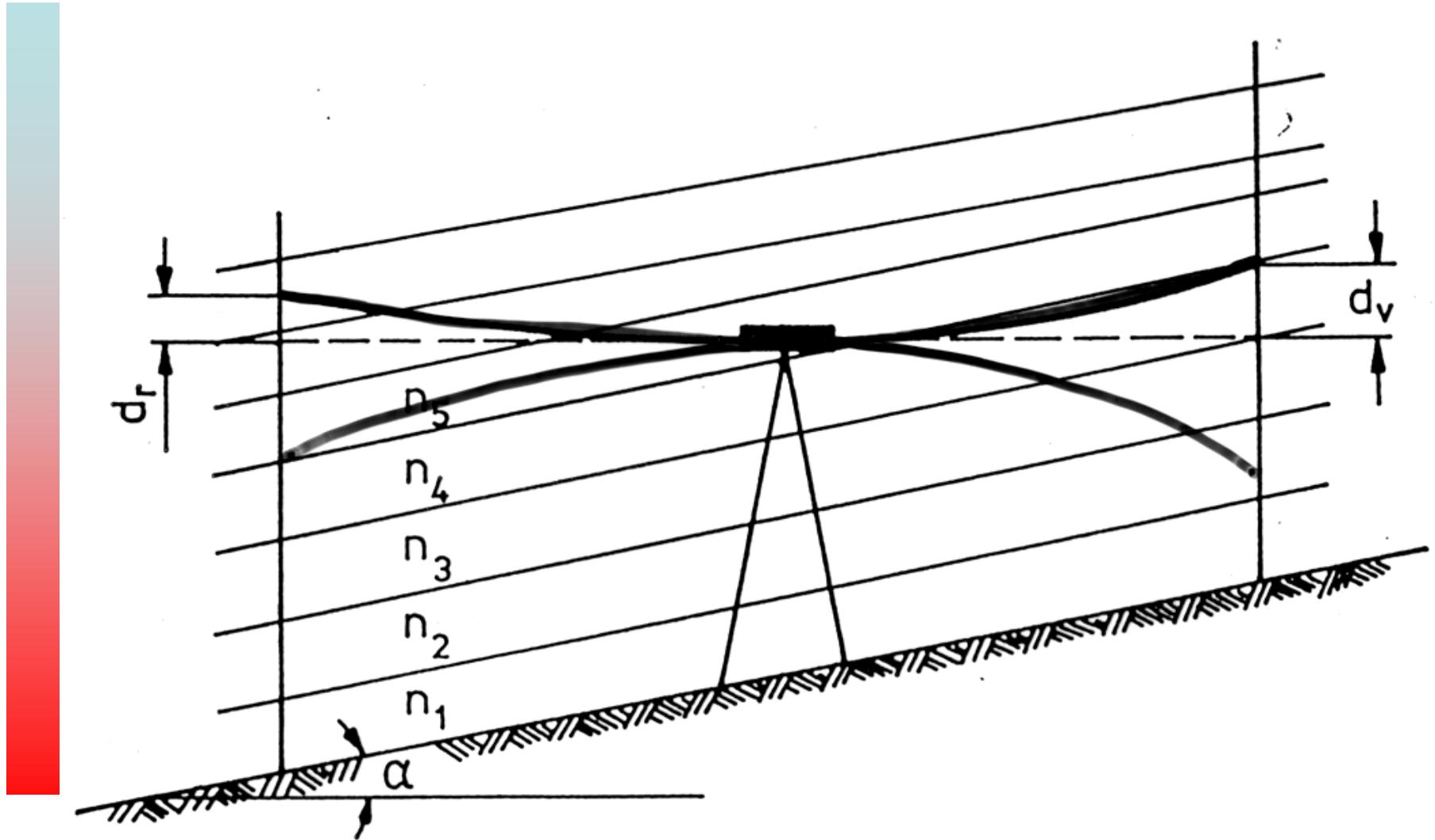
Refraktion

Digitales Nivellier als Messsystem



Woschitz/Brunner
2001

Refraktion



Zusammenstellung: Abweichungen “Fehler” und ihre Vermeidung

Kompensatoreinspielabweichung	Rote Hose , alternierende Horizontierung, Schirm über Instrument
Kompensator Restschiefe	Neujustierung, aus der Mitte, Symmetrische Visurlängen
Temperatureinfluss	Schirm
Lattennullpunkt	Kalibrierung, Gerade Anzahl Aufstellungen Zentrierring
Lattenschiefstellung	Justierung , 2 Libellen,Zentrierring
Lattenmasstab	Kalibrierung
Einsinken/Driften	Lattenuntersatz, Kontrolle
Refraktion	Begrenzung auf 30 m, keine bodennahen Visuren Keine Messungen in der Mittagszeit
Erdrückmung	Symmetrische Aufstellung, bei DNA's Korrektion möglich

Genauigkeit des Präzisionsnivellements

Berechnung der a posteriori-Standardabweichung ($s_{1\text{km}}$ doppelt) für 1 km Doppelnivellement **aus den doppelt gemessenen Höhendifferenzen** von jeder Teilstrecke (Schätzung der Standardabweichung aus Differenzen)

$s_{1\text{km}}$ Doppelnivellement

Auf 1 km bezogene Standardabweichung für Doppelnivellement in [mm/km $\frac{1}{2}$]

$$s_{1\text{km Doppelnivellement}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot \delta_i^2}{2 \cdot n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{1}{L_i} \cdot \left(|h_{\text{Hin},i}| - |h_{\text{Rück},i}| \right)^2 \right]}{4 \cdot n}}$$

$h_{\text{hin},i}$ Höhendifferenz einer Teilstrecke i beim Hin-Nivellement

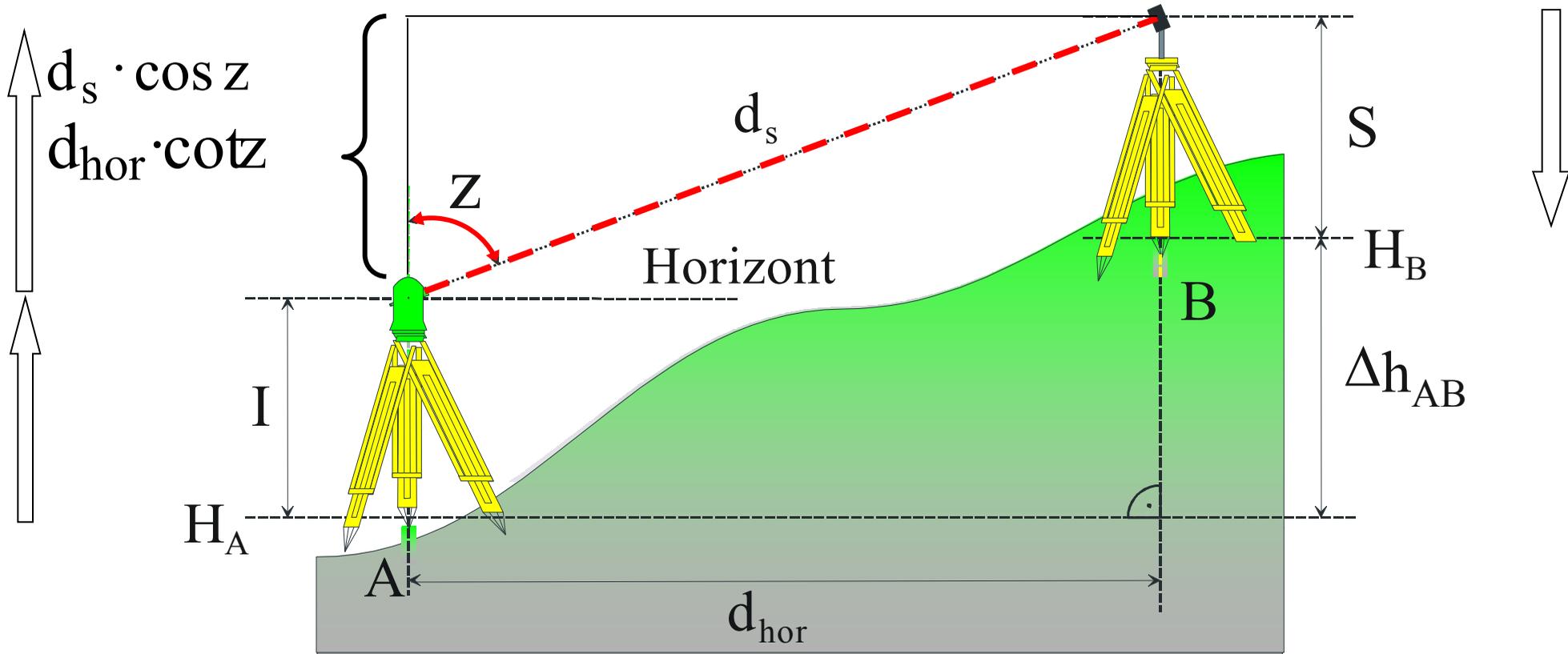
$h_{\text{rück},i}$ Höhendifferenz einer Teilstrecke i beim Rück-Nivellement

L_i Teillänge einer Teilstrecke i in km, $p_i = 1/L_i$ wird dabei dimensionslos eingeführt

n Anzahl der Teilstrecken

Trigonometrische Höhenbestimmung

Trigonometrischen Höhenbestimmung (ohne Refraktion und Erdkrümmung)

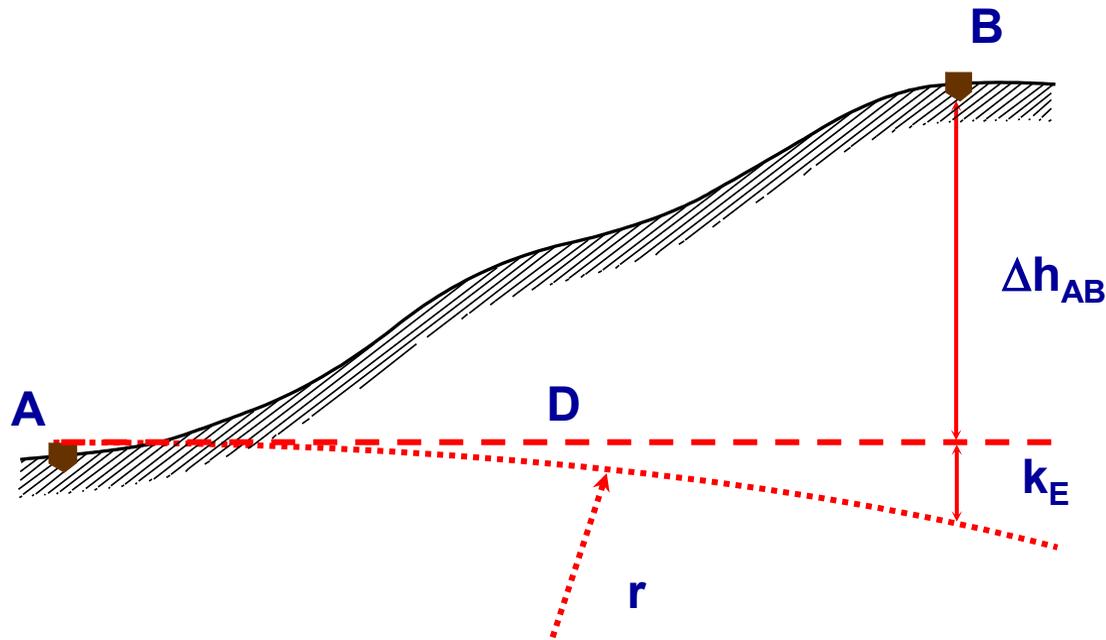


$$H_B = H_A + d_s \cdot \cos z + I - S$$

$$H_B = H_A + d_{hor} \cdot \cot z + I - S$$

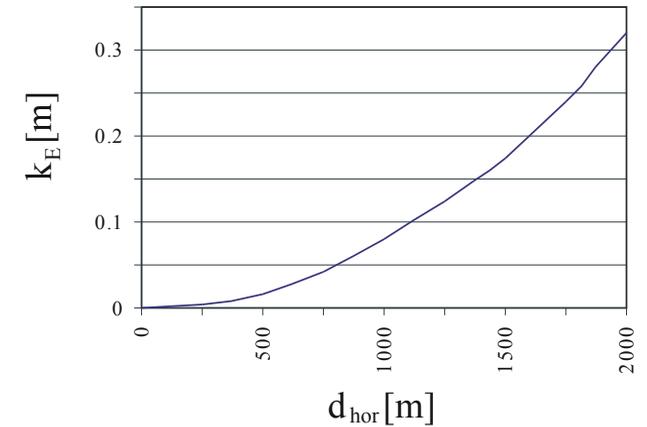
Einfluss der Erdkrümmung

Bei den Höhenmessungen muss der durch die Erdkrümmung entstehende Abstand zwischen der Tangentialebene und der Erdkugel berücksichtigt werden.



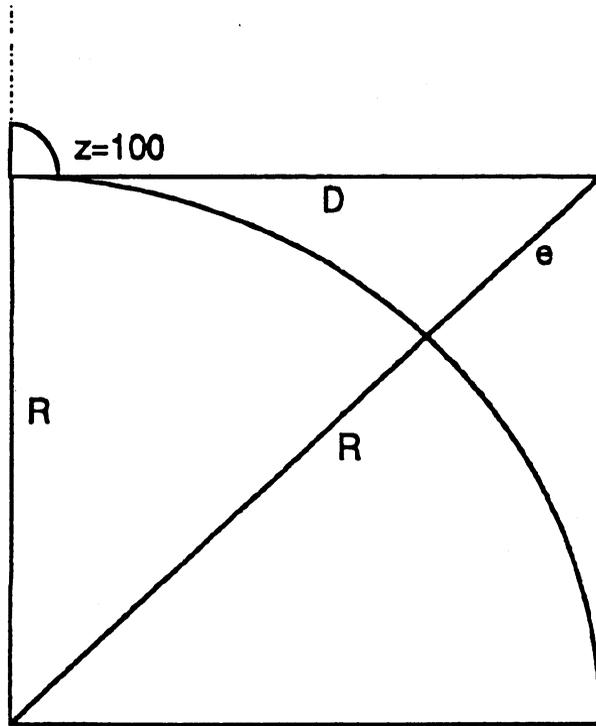
$$k_E \approx \frac{D^2}{2r}$$

Resnik/Bill



S (m)	k_E (mm)
100	1
200	3
300	7
500	20
5000	1960

Einfluss der Erdkrümmung



$$(R + e)^2 = R^2 + D^2$$

$$R^2 + 2Re + e^2 = R^2 + D^2$$

$$e(2R + e) = D^2$$

$$e = \frac{D^2}{(2R + e)} \text{ da. e. viel. kleiner. als. R}$$

$$e = \frac{D^2}{2R}$$

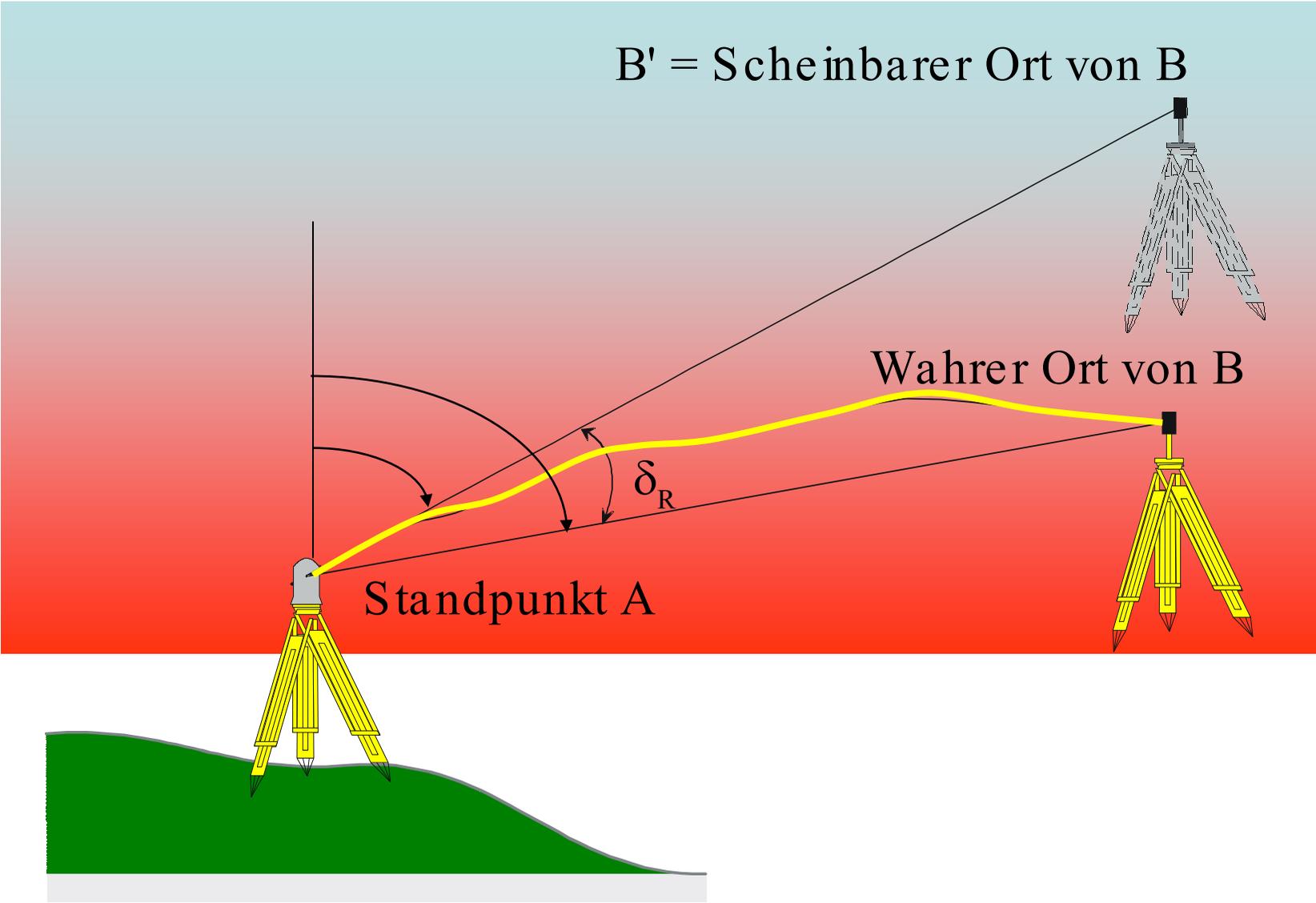
Einfluss der Lotabweichungen

- Bei langen Visuren , insbesondere im Hochgebirge, ist der Einfluss der Lotabweichungen zu berücksichtigen

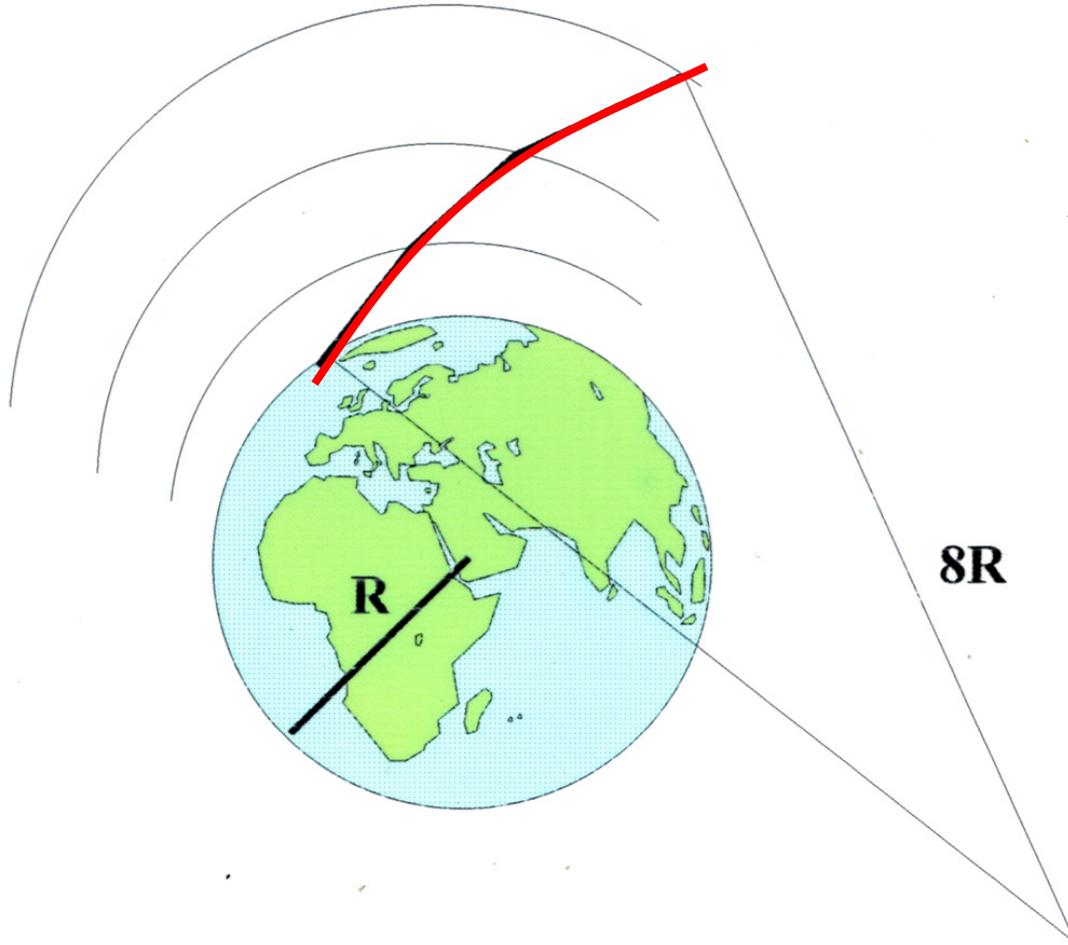
Einfluss der Meteorologie

- Refraktion
- Szintillation/Turbulenz

Auswirkungen der Refraktion



Elektromagnetische Wellen in der Erdatmosphäre

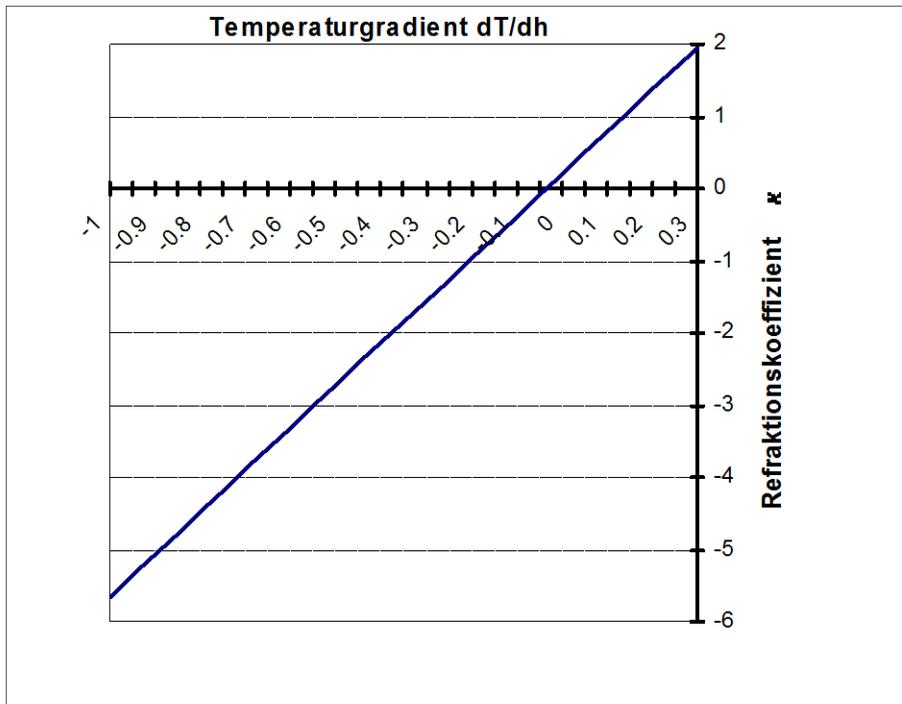


$$k = \frac{R_{Erd}}{R_{Licht}} \approx \frac{1}{8} \approx 0,13$$

Der Wert des Refraktionskoeffizienten κ hängt von den herrschenden atmosphärischen Bedingungen ab. Der in der Praxis noch vielfach fälschlicherweise verwendete Wert von $\kappa = 0.13$ ist aus Winkelmessungen im Hochgebirge abgeleitet worden und ist **nicht** repräsentativ für Messungen unter anderen Bedingungen wie z.B. Inversionswetterlage. Besonders in Bodennähe ist κ so variabel, dass es nahezu unmöglich erscheint, hier von „Erfahrungswerten“ auszugehen.

Bestimmung des Refraktionskoeffizienten

Der Refraktionskoeffizient k kann aus den meteorologischen Verhältnissen, die entlang des Zielstrahls gelten, abgeleitet werden.



$$\kappa = 503 \cdot \frac{p}{T^2} \cdot \left(0.0342 + \frac{dT}{dh} \right)$$

p : Luftdruck [hPa]

T : Temperatur [Kelvin]

dT/dh : vertikaler Temperaturgradient

Temperaturmesssystem ETHZ



Messungen 2002

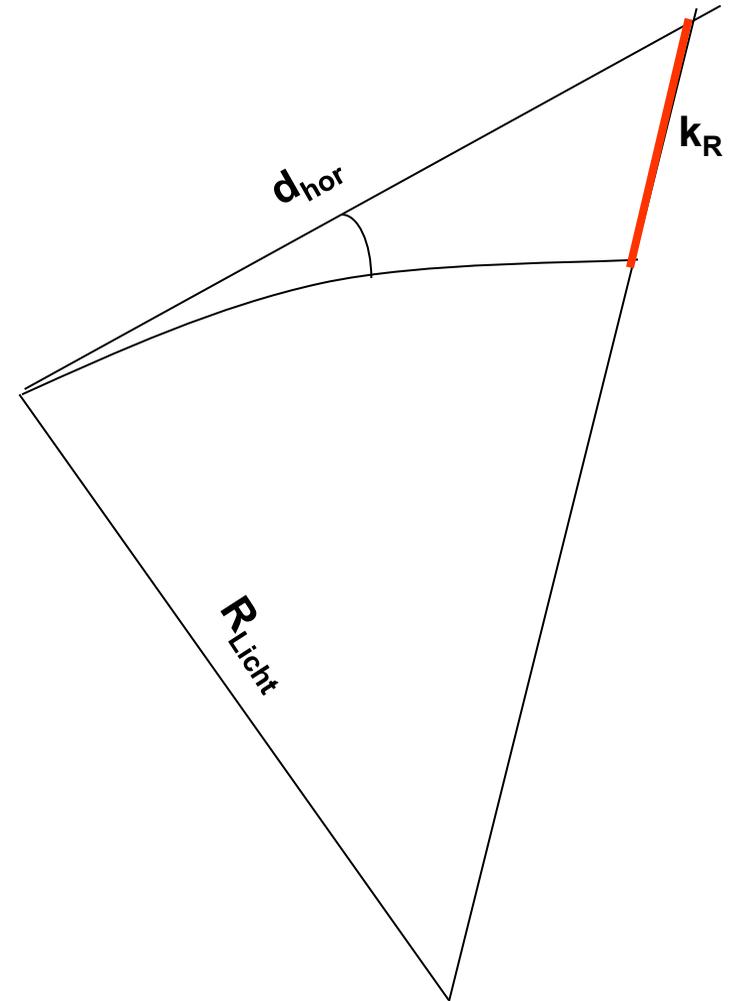
Die Refraktionsbedingte Höhenkorrektur

Höhenkorrektur

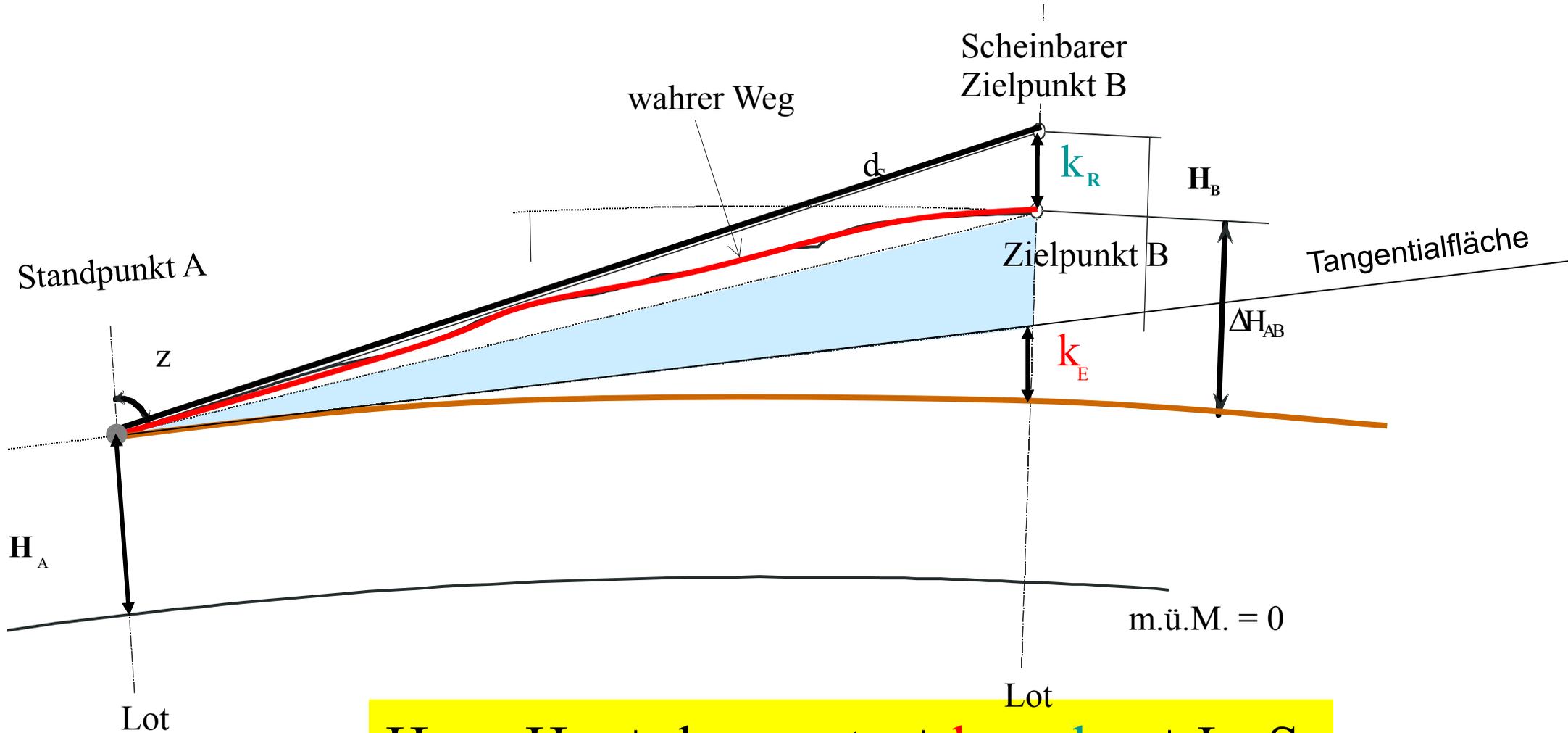
$$k_R = \frac{d_{hor}^2}{2R_{Licht}} = \frac{k \cdot d_{hor}^2}{2R_{Erd}}$$

$$k = \frac{R_{Erd}}{R_{Licht}}$$

$$R_{Licht} = R_{Erd} / k$$



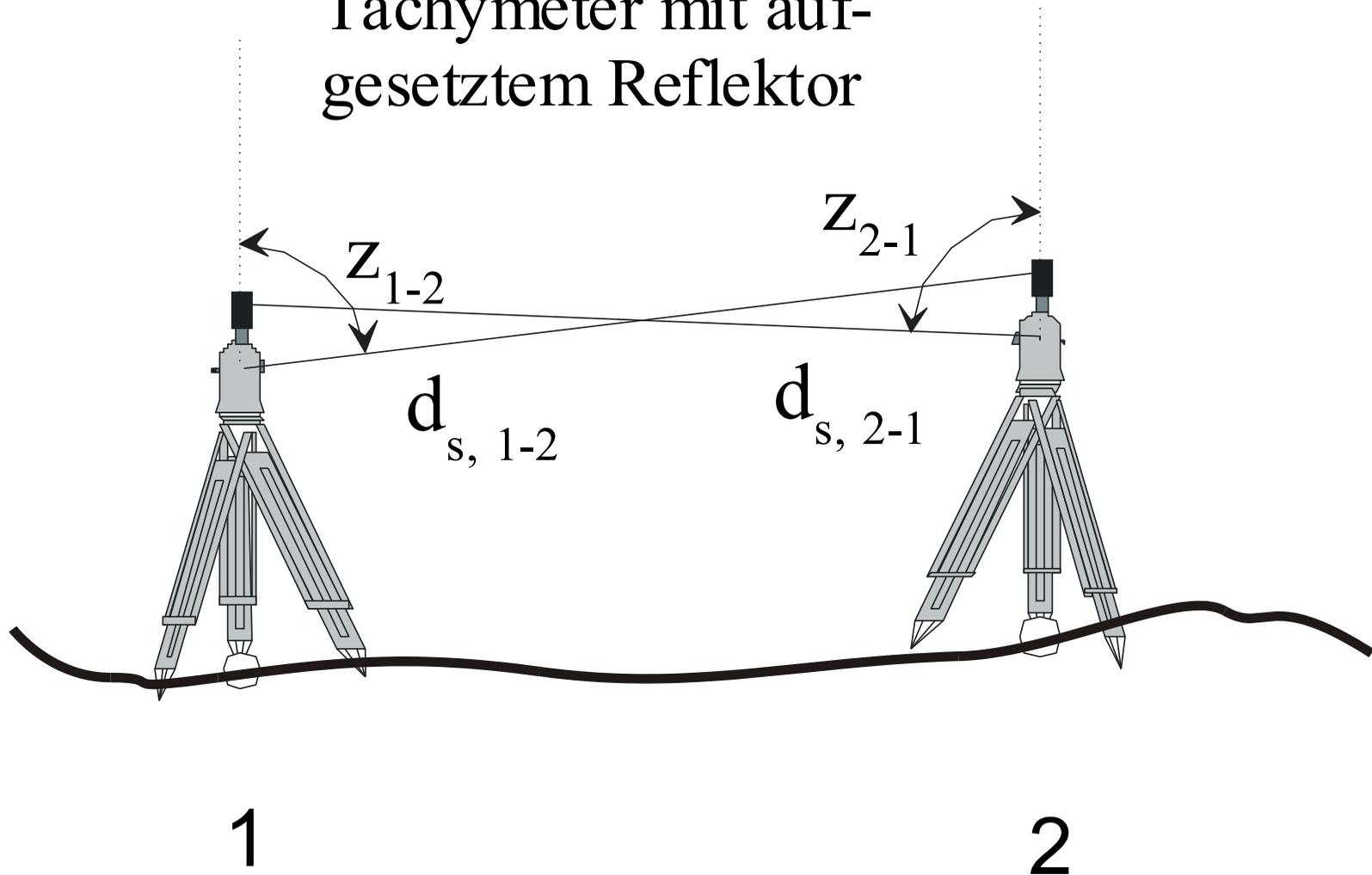
Einfluss von Erdkrümmung und Refraktion



$$H_B = H_A + d_{\text{hor}} \cdot \cot z + k_E - k_R + I - S$$

Synchrone trigonometrische Höhenbestimmung

Tachymeter mit aufgesetztem Reflektor



Messanordnung für gegenseitig gleichzeitige Messung



GPC 2007

Gegenseitig-gleichzeitige Zenitwinkelbeobachtung (5.1.1)

$$\Delta H_{\text{hin}} = d_{\text{hor}} \cdot \cot z_A + \frac{1 - \kappa}{2R} \cdot d_{\text{hor}}^2 + I_A - S_B$$

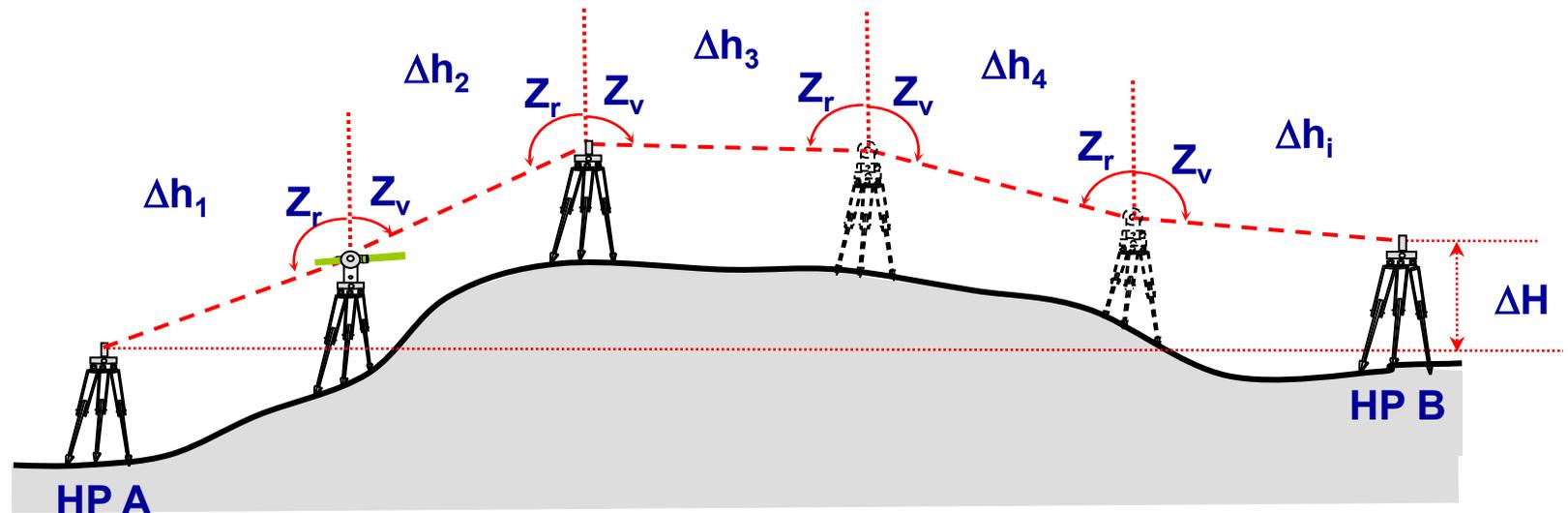
$$\Delta H_{\text{rück}} = -d_{\text{hor}} \cdot \cot z_B - \frac{1 - \kappa}{2R} \cdot d_{\text{hor}}^2 - I_B + S_A$$

$$\Delta h = \frac{1}{2} \left[d_{\text{hor}} \cdot (\cot z_A - \cot z_B) + (I_A - I_B) + (S_A - S_B) \right]$$

Der symmetrische Anteil der Refraktion sowie Erdkrümmung fällt bei diesem Verfahren heraus

Trigonometrisches Nivellement

Wenn keine direkte Sichtverbindung besteht, so können die trigonometrischen Höhenmessungen durch die Messung der Zenitwinkel und Entfernungen hintereinander angeordneter Standpunkte durchgeführt werden.



$$\Delta H = \Sigma(\Delta h_i)$$

Resnik/Bill

Wegen des schnell wachsenden Refraktionseinflusses liegt der optimale Abstand zwischen den Standpunkten im Bereich von 300 bis 500 m.



Motorisierte trigonometrische Verfahren



Ende