

# Zur trigonometrischen Höhenmessung über extrem kalten Schneeflächen

Von Wolfgang Zick\*

**Zusammenfassung:** An zwei Tagen wurde in Dome C (Ostantarktis) der Tagesgang des Refraktionskoeffizienten  $k$  aus gegenseitigen Zenitdistanzen bestimmt und die Genauigkeit der trigonometrischen Höhenübertragung untersucht.

**Summary:** In Dome C (Antarctica) the refraction coefficient  $k$  was determined by reciprocal vertical angle measurements taken over a period of two days. In addition, the accuracy of the trigonometric levelling was investigated.

## 1. Einleitung

In Fortführung von Arbeiten des Geodätischen Instituts der Universität Karlsruhe auf dem Gebiet der trigonometrischen Höhenübertragung und der Refraktion in der Arktis (LICHTE 1957, MÄLZER 1964, THIELE & ZICK 1973, STOBBER 1974) wurde vom Verf. im Rahmen der Teilnahme an einem geophysikalischen Forschungsprogramm (Thyssen, Münster, und Bentley, Madison, Wisc.) in der zentralen Ostantarktis auf der amerikanischen Station Dome C ( $\varphi = 74^\circ 42'$  s. Br.,  $\lambda = 124^\circ 04'$  ö. Gr., Höhe 3250 m) an 2 Tagen versucht, den Tagesgang der Refraktion zu bestimmen und eine Aussage über die Genauigkeit der trigonometrischen Höhenübertragung zu machen.

## 2. Messungsanordnung und Instrumente

In einem Vorversuch hatte sich gezeigt, daß ein Nivelliergerät, dessen Stativfüße ohne Schneeteller in dem Schnee festgetreten waren, gegenüber einem seit Jahren tief im Schnee stehenden, etwa 4 m hohen Mast im Laufe von 2 Wochen weniger als 1 mm eingesunken war. Auf Grund dieses Versuchs und der bisherigen eigenen Erfahrung in Kanada (THIELE & ZICK 1973) und Grönland (EGIG II) wurden dann auf den vier Standpunkten die Stative ohne Schneeteller aufgestellt (Abb. 1).

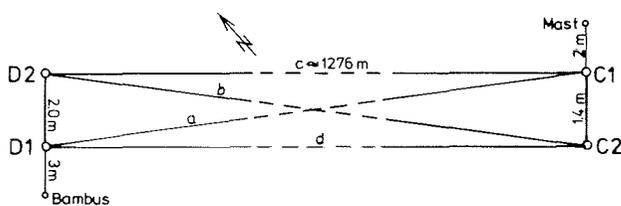


Abb. 1: Anordnung der Standpunkte.

Fig. 1: Arrangement of the observation stations.

Auf C1 und D1 wurden normale Stative (Instrumentenhöhe  $i \approx 1.5$  m über Schnee), auf C2 und D2 extrem lange Stative ( $i \approx 2.3$  m über Schnee) verwendet; sie blieben zwischen den Meßtagen (20. 12. 79 und 27. 12. 79) stehen. Die Differenz der Kippachsenhöhe zwischen C2 und C1 (D2 und D1) wurde aus Nivelliersichten gegenüber Maßstäben auf dem Mast (Bambusstange) mit 0.904 m am 20. 12. und 0.906 m am 27. 12. (0.864 m und 0.865 m) bestimmt. Die Strecken a, b, c, d zwischen den Punkten wurden elektroop-

\* Dr.-Ing. Wolfgang Zick, Geodätisches Institut der Universität (TH), Englerstr. 7, 7500 Karlsruhe 1

tisch mit den Geräten AGA Geodimeter 14 bzw. ZEISS Eldi 1 gemessen, die von diesen Firmen zur Verfügung gestellt wurden;  $a = 1276.61$  m,  $b = 1276.40$  m,  $c = 1276.81$  m,  $d = 1276.19$  m. Für die Zenitwinkelmessung wurde der Sekundentheodolit ZEISS Th2 mit Höhenkompensator verwendet; Vergleichsbeobachtungen gegenüber einem WILD T2 mit Indexlibelle hatten ergeben, daß bei der herrschenden Sonneneinstrahlung — es wurde ohne Schirm gearbeitet — die Genauigkeit eines mit dem Kompensatorinstrument gemessenen Zenitwinkels etwa viermal größer war (16 Sätze,  $m_K = \pm 3^{\text{cc}}$ ,  $m_L = \pm 12^{\text{cc}}$ ). Nachteilig war der Kompensator nur bei stärkerem Wind auf dem hohen Stativ; hier traten durch das Vibrieren des Statives Schwingungen am Kompensator auf, die das Koinzidieren erschwerten. Offensichtlich blieb der Kompensator auch einige Male „kleben“ bzw. die Horizontierung in Zielrichtung ging unbemerkt verloren: an beiden Tagen mußten einige auf den hohen Stativen gemessene Winkel gestrichen werden. Als Ziele bewährten sich schwarze Holzkugeln mit 9 cm Durchmesser, die auf einen Metallstab mit Steckzapfen befestigt waren.

Die Anordnung der Punkte wurde in der beschriebenen Form gewählt um festzustellen, ob die Vergrößerung der normalen Instrumentenhöhe hier in der Antarktis über der praktisch ebenen Schneefläche und den hier herrschenden extremen Refraktionsbedingungen (vgl. z. B. LICHTER 1957) Vorteile bringt. Bekanntlich nehmen die Schwankungen des lokalen Refraktionskoeffizienten mit der Höhe ab; es wäre denkbar, daß bei Messungen, die nicht unmittelbar gegenseitig gleichzeitig erfolgen, was in der Praxis häufig der Fall ist, Zielungen in größerem Bodenabstand bessere Ergebnisse liefern.

Bei allen Messungen ist zu beachten, daß der Verf. allein arbeiten mußte, die Rückmessung also erst nach der Fahrt zum Zielpunkt erfolgen konnte.

### 3. Messungen am 20. 12. 79

Am 20. 12. 79 wurden die gegenseitigen Zenitwinkel auf allen vier langen Strecken in folgendem Ablauf gemessen (Abb. 1): z. B. Standpunkt C1 Lage I (LI) nach D1 und D2, LII nach D2 und D1, insgesamt 3 Sätze, dann entsprechend auf C2 nach D1 und D2, anschließend Fahrt auf dem Snowmobil zu den Standpunkten D1,2 und Rückmessung nach C1,2. Die 6 Sätze je Standpunkt dauerten etwa 10 Minuten, jeweils 3 Sätze zu einem Ziel wurden gemittelt; dieses Mittel wurde als repräsentative Zenitdistanz zu der zugehörigen mittleren Beobachtungszeit bei der weiteren Rechnung verwendet. Insgesamt wurden von 9<sup>15</sup> bis 21<sup>25</sup> mittlerer Ortszeit (= UT + 8 h) 216 Zenitwinkel beobachtet, von denen 192 verwendbar waren (vgl. oben). Aus 156 bis 194<sup>5</sup> gemessenen Winkeln — danach waren die Beobachtungsbedingungen durch das starke Flimmern und durch Schwebungen nicht mehr vergleichbar — wurde als mittlerer Fehler eines einmal gemessenen Winkels  $m_z = \pm 3.9^{\text{cc}}$  erhalten, wobei zwischen den Messungen auf hohem und niedrigem Stativ kein signifikanter Unterschied vorhanden war.

Während der Beobachtungen auf C1 wurde an dem Mast mit einem Assmannschen Aspirationspsychrometer (Federmotor) in 1.5 m Höhe, während der Messung auf C2 in 3.8 m Höhe die Temperatur der Luft gemessen. Der Tagesgang des Wetters war an diesem Tag insofern unüblich, als bei zunächst klarem Himmel um die Kulminationszeit der Sonne stärkerer Wind (> 3 m/sec) aufkam, der gegen 18<sup>00</sup> Ortszeit bei gleichzeitig aufziehender Wolkenfront abnahm; bei Abbruch der Messungen war der Himmel völlig bedeckt. Normalerweise war in den Monaten Dezember, Januar der Himmel abgesehen von leichten Schleierwolken bei schwachem Wind klar.

$$\text{Die Formel } \Delta H = s \cdot \sin \frac{z_2 - z_1}{2} \quad (1)$$

führt dann zu vom Refraktionseinfluß befreiten Höhenunterschieden, wenn die Lichtkurve als Kreisbogen betrachtet werden kann — was bei der ebenen Schneefläche sicher zutrifft —, wenn die atmosphärischen Verhältnisse auf beiden Standpunkten etwa gleich sind — was hier ebenfalls der Fall ist — und die

gegenseitigen Zenitwinkel gleichzeitig beobachtet wurden — was hier aus Personalgründen nicht möglich war. Die Gleichzeitigkeit braucht dann nicht genau eingehalten zu werden, wenn sich die Refraktionsverhältnisse zwischen beiden Messungen nicht oder nur geringfügig ändern (THIELE & ZICK, 1973, STÖBER 1974); zwangsläufig lag der Zeitunterschied  $\Delta T$  zwischen Hin- und Rückmessung hier zwischen 20 und 62 Minuten (Tab. 1), im Durchschnitt bei 35 Minuten. Die nach (1) berechneten Höhenunterschiede

C1 - D1					C1 - D2					C2 - D1					C2 - D2					
mittl. Zeit T	$\Delta T$	$k_{C1}$	$k_{D1}$	$k_{D1}$	mittl. Zeit T	$\Delta T$	$k_{C1}$	$k_{D1}$	$k_{D2}$	mittl. Zeit T	$\Delta T$	$k_{C2}$	$k_{D1}$	$k_{D2}$	mittl. Zeit T	$\Delta T$	$k_{C2}$	$k_{D1}$	$k_{D2}$	
		10 <sup>32</sup>	+0.32*	10 <sup>33</sup>			10 <sup>32</sup>	-0.55	10 <sup>36</sup>			10 <sup>30</sup>	-0.57*	10 <sup>30</sup>			10 <sup>30</sup>	-0.69	10 <sup>33</sup>	-0.24
10 <sup>32</sup>	25	10 <sup>35</sup>	-0.49	10 <sup>35</sup>			10 <sup>35</sup>	-0.36	10 <sup>36</sup>			10 <sup>32</sup>	-0.38	10 <sup>36</sup>			10 <sup>32</sup>	-0.52	10 <sup>35</sup>	+0.03
10 <sup>30</sup>	23	10 <sup>31</sup>	-0.24	10 <sup>35</sup>			10 <sup>31</sup>	-0.45	10 <sup>36</sup>			10 <sup>34</sup>	-0.43	10 <sup>35</sup>			10 <sup>31</sup>	-0.39	10 <sup>35</sup>	-0.22
11 <sup>34</sup>	62	11 <sup>35</sup>	-0.45	11 <sup>35</sup>			11 <sup>35</sup>	-0.31	11 <sup>39</sup>			11 <sup>35</sup>	-0.24	11 <sup>35</sup>			11 <sup>35</sup>	-0.24	11 <sup>35</sup>	-0.14
11 <sup>36</sup>	22	11 <sup>37</sup>	+0.02	11 <sup>39</sup>			11 <sup>37</sup>	+0.07	11 <sup>39</sup>			11 <sup>37</sup>	+0.14	11 <sup>39</sup>			11 <sup>37</sup>	+0.47	11 <sup>39</sup>	+0.14
11 <sup>35</sup>	22	11 <sup>36</sup>	+0.27	11 <sup>36</sup>			11 <sup>36</sup>	+0.24	11 <sup>37</sup>			11 <sup>35</sup>	-0.25	11 <sup>36</sup>			11 <sup>35</sup>	+0.38	11 <sup>36</sup>	+0.10
11 <sup>30</sup>	25	11 <sup>33</sup>	+0.34	11 <sup>36</sup>			11 <sup>33</sup>	+0.55	11 <sup>37</sup>			11 <sup>30</sup>	-0.21	11 <sup>36</sup>			11 <sup>30</sup>	+0.02	11 <sup>36</sup>	+0.35
11 <sup>38</sup>	25	11 <sup>31</sup>	+1.12	11 <sup>36</sup>			11 <sup>31</sup>	+1.01	11 <sup>37</sup>			11 <sup>38</sup>	-0.91	11 <sup>38</sup>			11 <sup>38</sup>	+0.66	11 <sup>38</sup>	+0.89
20 <sup>30</sup>	24	20 <sup>32</sup>	+2.09	20 <sup>38</sup>			20 <sup>32</sup>	+1.92	21 <sup>38</sup>			20 <sup>30</sup>	+1.79	20 <sup>32</sup>			20 <sup>30</sup>	+1.13	20 <sup>32</sup>	+0.91
		21 <sup>32</sup>	-0.45	21 <sup>32</sup>			21 <sup>32</sup>	-0.55	21 <sup>38</sup>			21 <sup>32</sup>	-0.44	21 <sup>32</sup>			21 <sup>32</sup>	-0.44	21 <sup>32</sup>	+0.56

Tab. 1: Höhenunterschiede und Refraktionskoeffizienten (20. 12. 79).

Tab. 1: Height differences and refraction coefficients (20. 12. 79).

de  $\Delta H$  sind mit der zugehörigen Zeit T in Tabelle 1 angegeben; die mit \* versehenen  $\Delta H$  wurden gemittelt, und das Höhenmetz mit diesen Werten und den direkt in Nivelliersicht gemessenen Höhenunterschied C1 - C2 und D1 - D2, die als fehlerfrei eingeführt wurden, ausgeglichen. Der mittlere Fehler eines Höhenunterschieds ergab sich zu  $m_{\Delta H} = \pm 0.006$  m, woraus man als mittleren Fehler eines einmal aus jeweils 3 gegenseitigen, zeitlich im Mittel 35 Minuten auseinanderliegenden Zenitdistanzen bestimmten Höhenunterschieds  $m_{\Delta H} = \pm 0.014$  m erhält. Mit diesen ausgeglichenen Höhenunterschieden  $\Delta H$  wurde dann nach

$$k = 1 - \frac{(\Delta H - s \cos z)}{r} \quad (2)$$

r = Erdradius, s = Schrägstrecke

der wirksame Refraktionskoeffizient k auf den einzelnen Standpunkten berechnet (Tab. 1) und graphisch über der Zeit aufgetragen (Abb. 2). Eine Fehlerabschätzung mit  $m_z = \pm 2.3^{\circ}$ ,  $m_{\Delta H} = \pm 0.006$  m ergibt  $m_k = \pm 0.06$ . Auf dem Signifikanzniveau S = 95% ist in der Zeit bis 15<sup>00</sup> das Mittel  $\bar{k}_U = -0.54 \pm 0.06$  (n = 8) aller „unten“ (u), also von C1 nach D1 und umgekehrt bestimmten Refraktionskoeffizienten kleiner als das Mittel  $\bar{k}_O = -0.24 \pm 0.10$  (n = 5) der „oben“ (o) zwischen C2 und D2 bestimmten k. Die von „unten“ (1.5 m über Schnee) schräg (s) nach „oben“ (2.3 m über Schnee) gemessenen Zenitdistanzen führen erwartungsgemäß in dieser Zeit zu einem dazwischenliegenden Mittelwert  $\bar{k}_S = -0.40 \pm 0.04$  (n = 12). Die durch Einstrahlung hervorgerufenen negativen Temperaturgradienten bewirken diese negativen Refraktionskoeffizienten, deren Größe mit  $\approx -0.5$  in üblicher Beobachtungshöhe außergewöhnlich niedrig ist. Die Temperaturkurven in Abb. 2 scheinen dies zu bestätigen; allerdings war es am Mast nicht immer möglich, die Temperaturmessungen beschattet durchzuführen; die Temperaturen sind also wenig aussagekräftig; es müßten kontinuierliche Aufzeichnungen vorgenommen werden. Nach 16<sup>00</sup> entstehen nach Beginn der Ausstrahlung die positiven Refraktionskoeffizienten (Abb. 2); da der Schnee bereits wenige Zentimeter unter der Oberfläche um diese Zeit eine Temperatur unter  $-30^{\circ}\text{C}$  hat, ergeben sich positive Temperaturgradienten, und es entsteht eine stabile Schichtung, wobei sich die  $k_U$  und  $k_O$  nicht mehr unterscheiden. Der bei klarem Himmel übliche steile Anstieg der Kurve der Refraktionskoeffizienten (vgl. Abb. 3) wird durch Einfließen anderer Luftmassen gebremst. Die in 3.8 m und

1.5 m Höhe gemessenen Temperaturen unterscheiden sich kaum mehr, die Refraktionskoeffizienten werden wieder kleiner.

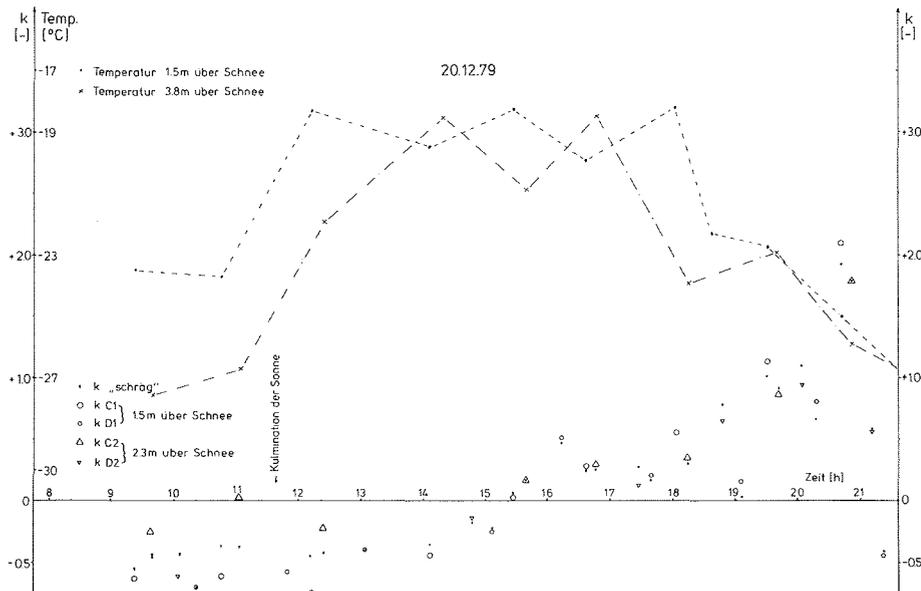


Abb. 2: Verlauf von Refraktionskoeffizienten und Temperatur am 20. 12. 79.

Fig. 2: The mean refraction coefficient and the air temperature (20. 12. 79).

#### 4. Messungen am 27. 12. 79

Abweichend vom 20. 12. wurden am 27. 12. nur die Winkel C1—D1, C2—D2 und D2—C2, D1—C1 beobachtet. In der Zeit von 8<sup>40</sup> bis 21<sup>00</sup> wurden 162 Zenitwinkel gemessen, von denen 156 verwertbar waren (vgl. oben). Aus 135 bis 19<sup>36</sup> gemessenen Winkeln wurde als mittlerer Fehler eines einmal beobachteten Winkels  $\pm 2.7^{\text{cc}}$  erhalten. Der Tagesablauf des Wetters war repräsentativ für diese Wochen: abgesehen von zeitweiser dünner Schleierbewölkung klar, schwacher Wind von 1—2 m/sec. mit starkem Flimmern und Schwebungen des Ziels am Spätnachmittag und Abend.

Die Auswertung erfolgte wie am 20. 12., die Zeitunterschiede  $\Delta T$  zwischen Hin- und Rückmessung lagen auf Grund des reduzierten Programms zwischen 13 und 23 Minuten, im Durchschnitt bei 17 Minuten. Die nach (1) berechneten  $\Delta H$  sind in Tabelle 2 aufgeführt. Da der Refraktionskoeffizient  $k$  (Abb. 3) nach 17 Uhr bei starkem Flimmern und ungünstiger Zielerfassung über  $k = 1$  hinaus stark ansteigt, werden bei der weiteren Auswertung nur die  $\overline{\Delta H}$  bis zu diesem Zeitpunkt herangezogen; deren Mittel ist für C1—D1  $\overline{\Delta H} = -0.332 \text{ m} \pm 0.002 \text{ m}$  und für C2—D2  $\overline{\Delta H} = -0.293 \text{ m} \pm 0.003 \text{ m}$ . Der mittlere Fehler eines einmal aus jeweils 3 gegenseitigen, bis 23 Minuten auseinanderliegenden Zenitdistanzmessungen erhaltenen Höhenunterschieds errechnet sich zu  $m_{\Delta H} = \pm 0.007 \text{ m}$  bzw.  $m_{\Delta H} = \pm 0.009 \text{ m}$ . Mit den Höhenunterschieden  $\Delta H$  und den in Nivelliersicht bestimmten Kippachsenhöhenunterschieden der Punkte C1 und C2 bzw. D1 und D2 hat die Schleife C1, D1, D2, C2 einen Abschlußfehler von 2 mm; nach dessen Berücksichtigung erhält man für  $\Delta H_{D1-C1} = +0.333 \text{ m}$ , für  $\Delta H_{D2-C2} = +0.292 \text{ m}$ , denen die ausgeglichenen Höhenunterschiede vom 20. 12.  $\Delta H_{D1-C1} = +0.316 \text{ m}$  bzw.  $\Delta H_{D2-C2} = +0.276 \text{ m}$  gegenü-

stehen, d. h. die C-Punkte haben sich gegenüber den D-Punkten um 17 mm bzw. 16 mm gesenkt; die Ursache ist unbekannt. Die gute Übereinstimmung beider Höhenänderungen bestätigt nochmals die hohe äußere Genauigkeit der trigonometrisch bestimmten Höhen.

C 1 - D 1							C 2 - D 2							
mittl. Zeit T	$\Delta T$ [min]	$\Delta H$ [m]	$k_{C1}$	$k_{D1}$	$\Delta H$ [m]	$\Delta T$ [min]	$\Delta H$ [m]	$k_{C2}$	$k_{D2}$	$\Delta H$ [m]	$\Delta T$ [min]	$\Delta H$ [m]	$k_{C2}$	$k_{D2}$
			9 <sup>42</sup>	-0.35				5 <sup>58</sup>	-0.02					
9 <sup>35</sup>	14	+0.321*	9 <sup>42</sup>	-0.50	9 <sup>48</sup>	-0.30		9 <sup>52</sup>	-0.09					
10 <sup>43</sup>	18	+0.329*	10 <sup>52</sup>	-0.46	10 <sup>54</sup>	-0.38		11 <sup>00</sup>	-0.12					
11 <sup>41</sup>	14	+0.332*	11 <sup>48</sup>	-0.50	11 <sup>54</sup>	-0.47	11 <sup>12</sup>	23	+0.290*	11 <sup>23</sup>	-0.08			
12 <sup>30</sup>	16	+0.324*	12 <sup>38</sup>	-0.50	12 <sup>42</sup>	-0.21	12 <sup>05</sup>	14	+0.303*	12 <sup>12</sup>	-0.23			
13 <sup>58</sup>	20	+0.331*	14 <sup>08</sup>	-0.33	13 <sup>58</sup>	-0.44	13 <sup>31</sup>	18	+0.294*	13 <sup>40</sup>	-0.26			
14 <sup>50</sup>	23	+0.331*	15 <sup>02</sup>	-0.22	14 <sup>39</sup>	-0.17	14 <sup>24</sup>	17	+0.289*	14 <sup>32</sup>	-0.12			
15 <sup>40</sup>	15	+0.338*	15 <sup>48</sup>	-0.00	15 <sup>33</sup>	-0.06	15 <sup>19</sup>	18	+0.299*	15 <sup>28</sup>	-0.00			
16 <sup>37</sup>	18	+0.338*	16 <sup>46</sup>	+0.27	16 <sup>28</sup>	+0.21	16 <sup>06</sup>	17	+0.301*	16 <sup>15</sup>	-0.04			
17 <sup>30</sup>	16	+0.344	17 <sup>38</sup>	+1.10	17 <sup>22</sup>	+0.25	17 <sup>03</sup>	18	+0.277*	17 <sup>12</sup>	-0.61			
18 <sup>42</sup>	15	+0.383	18 <sup>50</sup>	+3.12	18 <sup>35</sup>	+2.84	18 <sup>20</sup>	16	+0.249	18 <sup>28</sup>	+3.02			
19 <sup>29</sup>	14	+0.309	19 <sup>36</sup>	+3.07	19 <sup>22</sup>	+3.56	19 <sup>06</sup>	16	+0.299	19 <sup>14</sup>	+2.62			
20 <sup>20</sup>	17	+0.314	20 <sup>28</sup>	+6.55	20 <sup>11</sup>	+6.88	19 <sup>53</sup>	18	+0.286	20 <sup>02</sup>	+4.23			
			20 <sup>54</sup>	+3.81	20 <sup>48</sup>	+2.89	20 <sup>42</sup>	13	+0.350	20 <sup>48</sup>	+2.89			

Tab. 2: Höhenunterschiede und Refraktionskoeffizienten (27. 12. 79).

Tab. 2: Height differences and refraction coefficients (27. 12. 79).

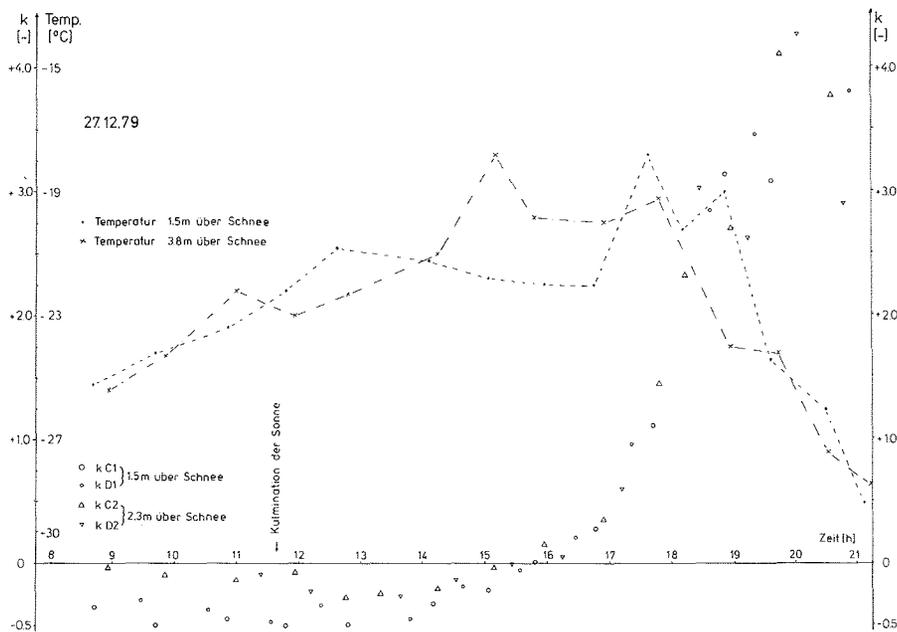


Abb. 3: Verlauf von Refraktionskoeffizienten und Temperatur am 27. 12. 79.

Fig. 3: The mean refraction coefficient and the air temperature (27. 12. 79).

Aus jeder Gruppe von 3 Zenitdistanzen wurden wieder nach (2) die wirksamen Refraktionskoeffizienten  $k$  berechnet (Tab. 2, Abb. 3) mit  $m_z = \pm 1.6^{cc}$  und  $m_{\Delta H} = \pm 0.003$  m wird  $m_k = \pm 0.03$ . Auch hier sind die Mittelwerte aller  $k$ , die in 1.5 m Höhe und in 2.3 m Höhe ermittelt wurden, in der Zeit bis 15<sup>02</sup> bzw. 14<sup>32</sup> hochsignifikant verschieden ( $\bar{k}_u = -0.38 \pm 0.03$  bei  $n = 13$ ,  $\bar{k}_o = -0.15 \pm 0.03$  bei  $n = 11$ ). Genau wie bereits am 20. 12. entstehen gegen 16<sup>00</sup> die positiven  $k$ , die sich „unten“ und „oben“ nicht mehr unterscheiden und an diesem Tag unter starkem Schwanken auf Werte über +4 ansteigen; mit dem starken Anstieg der  $k$  fällt die Temperatur (Abb. 3).

### 5. Zusammenfassung

Die Genauigkeit der trigonometrischen Höhenübertragung über größere Entfernung ist in erster Linie von der Erfassung der Refraktion bzw. der Beseitigung des Refraktionseinflusses abhängig. Wegen der Größe der auftretenden Refraktionskoeffizienten  $k$  trifft dies in ganz besonderem Maße bei Arbeiten im Polargebiet zu. Der Tagesgang der Refraktion ist zunächst abhängig von der geographischen Breite bzw. dem Sonnenstand — bei einer geogr. Breite  $\varphi \approx 75^\circ$  s. Br. steht in Dome C die Sonne Ende Dezember mittags  $\approx 38^\circ$  über dem Horizont, um Mitternacht noch  $\approx 8^\circ$  —; er wird zusätzlich vom Grad der Bewölkung und der Windgeschwindigkeit beeinflusst. Auf dem zentralen Inlandeis herrscht meist Hochdruckwetterlage mit nur leichter Schleierbewölkung; entsprechend ausgeprägt ist der Tagesgang der  $k$  (Abb. 3). Auf Grund des inzwischen vorliegenden Materials (THIELE & ZICK 1973, STOBBER 1974, MEIER 1976) kann gefolgert werden, daß allgemein in dem Zeitraum von 3—4 h vor und nach der Kulmination der Sonne die Refraktionskoeffizienten bei nur geringen Schwankungen auch in der normalen Beobachtungshöhe nahezu konstant bleiben, d. h., daß in dieser Zeit auch bei nicht gleichzeitiger gegenseitiger Zenitwinkelmessung, was sich in der Praxis häufig nicht vermeiden läßt, eine zuverlässige Höhenübertragung möglich ist — hier z. B. bei Messungen von je 3 Zenitwinkeln auf  $s \approx 1.3$  km  $m_{\Delta H} \approx \pm 0.9$  cm bei etwa 20 Minuten Zeitunterschied am 27. 12. bzw.  $m_{\Delta H} \approx \pm 1.4$  cm bei etwa 40 Minuten Zeitunterschied am 20. 12. Durch Verwendung höherer Stativen ( $i \approx 2.3$  m) kommt man zwar unter den oben geschilderten Verhältnissen in Schichten mit signifikant kleineren Refraktionskoeffizienten; dennoch setzt der stark schwankende Anstieg des Refraktionskoeffizienten etwa zur gleichen Zeit ein wie in der üblichen Instrumentenhöhe; eine Ausdehnung des günstigen Beobachtungszeitraums läßt sich dadurch nicht erzielen. Nach subjektivem Empfinden war auch die Zielerfassung nicht besser, dagegen machte sich bei stärkerem Wind das Vibrieren des Stativs unangenehm bemerkbar; nachteilig ist auch das Beobachten von einer Leiter aus.

Das Forschungsprogramm wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Dome C Th 168/13) und der National Science Foundation der USA unterstützt.

### Literatur

- Lichte, H. (1957): Geodätische Messungen auf dem grönländischen Inlandeis. — Z. f. Vermessungswesen 82: 65—73.  
 Mälzer, H. (1964): Das Nivellement über das grönländische Inlandeis der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition 1959. — Medd. Grönland 173 (7).  
 Meier, S. u. a. (1976): Geodätisch-glaziologische Arbeiten am Hays-Gletscher, Enderby-Land, während der 17. Sowjetischen Antarktisexpedition 1972. — Nationalkomitee f. Geodäsie u. Geophysik b. d. Akademie d. Wissenschaften d. DDR, III, 37.  
 Stober, M (1974): Zur Refraktion in Grönland. — Polarforschung 44 (2): 127—136.  
 Thiele, P. & W. Zick (1973): Zur Simultaneität von trigonometrischen Höhenmessungen über Meereis. — Allgem. Vermessungs-Nachr. 80: 419—425.