

Technischer Bericht

Technischer Bericht Nr. 52

Horizont des 100^ϕ m - Radioteleskops

Max-Planck-Institut für Radioastronomie ● Bonn

Technischer Bericht Nr. 52

Horizont des 100^ø m - Radioteleskops

Reinhard Schulze
Max-Planck-Institut
für Radioastronomie
Auf dem Hügel 69
5300 Bonn 1

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	Seite 1
2.	Die Messung und Auswertung des Horizontes vom Mai 1980	1
3.1	Vergleich des optischen Horizontes vom Mai 1980 mit den Ergebnissen der Auswertung des topographischen Horizontes	3
3.2	Vergleich des optischen Horizontes mit dem 11 cm - Rauschhorizont	4
4.	Abschätzung der Gewinnverluste bei teil- weiser Abschattung der Antennenapertur	5
5.	Modifikation des optisch gemessenen Hori- zontes bei Berücksichtigung von tolerier- baren Abschattungen	7
6.	Zusammenfassung	12

1. Einleitung

Der bisher bekannte und benutzte Instrumenthorizont des 100 m Teleskops geht im wesentlichen auf die Auswertung topographischen Kartenmaterials (Grahl 1970) sowie auf Messungen des Rauschhorizontes bei 11 cm Wellenlänge (Schulze 1972) zurück und ist im Technischen Bericht Nr. 22 (Schulze 1974) festgehalten.

In der Zwischenzeit waren einige Zweifel an der Richtigkeit der seinerzeit bestimmten Horizontbegrenzungen vor allem hinsichtlich der Berücksichtigung des Baumbestandes aufgekommen. Dem Fachausschuß 2 erschien es angezeigt erstmals jene Horizontbegrenzung zu bestimmen, oberhalb derer mit Sicherheit keine Abschattung der Antennenapertur erfolgt. Dies sollte durch die visuelle Beobachtung mit einer am unteren Spiegelrand angebrachten Fernsehkamera geschehen.

2. Die Messung und Auswertung des Horizontes vom Mai 1980

In gekippter Stellung des Teleskops ($7^{\circ} 20'$) wurde am tiefsten Punkt des Spiegelrandes eine Fernsehkamera mit Teleoptik ($f = 75 \text{ mm}$, Bildwinkel der Diagonale = 12°) montiert und mit Hilfe eines Neigungsmessers, der auf $7^{\circ} 20'$ voreingestellt war, in der Elevationsebene parallel zur Spiegelachse ausgerichtet. Die entsprechende Ausrichtung in der zur Elevationsebene senkrechten Ebene wurde in Zenitstellung (90°) der Antenne vorge-

nommen. Die Mitte des Fernsehmonitorschirms wurde durch ein Kreuz auf einer durchsichtigen Folie, die auf dem Bildschirm befestigt wurde, markiert. Die Ausrichtung der Fernsehkamera wurde noch dadurch geprüft, daß das Teleskop bei bewölktem Himmel auf die Sonne gerichtet wurde. Die Ablage der Sonne vom Mittelpunkt des Bildschirms betrug nicht mehr als ein halbes Grad. Damit war die Kamera für die Bestimmung des Horizontes ausreichend genau ausgerichtet.

Zur Prüfung der Reproduzierbarkeit der Horizonteneinstellungen wurde zunächst noch ein Festpunkt im Gelände ausgewählt. Dazu bot sich ein Punkt am Fernsehantennenmast in der Nähe des Besucherpavillons an. Der kreisförmige Boden des Mastkorbes erscheint aus dem Blickwinkel der Kamera als schmale Ellipse in der Horizontalebene, der Antennenmast selbst markiert die dazu senkrechte Richtung. Dieser Referenzpunkt hat die Koordinaten $AZM: 230^{\circ}53'26''$ und $ELV: 13^{\circ}20'$. Während der an zwei aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführten Messungen wurde dieser Punkt wiederholt angefahren und fiel jedesmal mit sehr geringen Abweichungen in der Größenordnung von $1/100$ Bildschirmbreite mit dem markierten Mittelpunkt des Monitors zusammen.

Zur Aufnahme des Horizontes wurde das Teleskop im Azimut um jeweils 5 Grad verfahren und von Hand die zugehörige Elevation des Horizontes eingestellt. In Bereichen, in denen infolge eines verdünnten Baumbestandes die Höhe der Bäume erkennbar wird, sind zwei Horizontbegrenzungslinien - mit und ohne Wald - angegeben.

Die Abtastung des Horizontes wurde punktuell vorgenommen. Abbildung 1 soll veranschaulichen, weshalb nachträglich noch die endliche Aperturausdehnung der Antenne berücksichtigt werden muß, wenn bei der Horizontermittlung festgestellt werden soll, ab welcher Elevation eine Abschattung der Antennenapertur eintritt. Da die maßgeblichen Hindernisentfernungen (zwischen 100 m und 400 m) bekannt sind (TB Nr. 22), lassen sich entsprechende Korrektorschablonen in Form von Schmiegungsparabeln herstellen. Bei jedem Azimut wird die der Hindernisentfernung zugehörige Korrektorschablone solange in Richtung zunehmender Elevation verschoben (max. 3° , meistens weniger) bis gerade eine tangentielle Berührung zwischen Schablone und punktuell aufgenommenener Horizontkurve stattfindet. Der Scheitelpunkt der Schmiegungsparabel gibt dann die für streifende Berührung gültige Elevation bei jedem Azimut an. Der so berichtigte "optische" Horizont wird im folgenden ausschließlich verwendet. Er ist in den Abbildungen 2 und 3 eingezeichnet und wird dort mit den Ergebnissen früherer Auswertungen für die Horizontbegrenzung verglichen.

3.1 Vergleich des optischen Horizontes vom Mai 1980 mit den Ergebnissen der Auswertung des topographischen Horizontes

Die Ergebnisse der beiden genannten Untersuchungen sind in Abbildung 2 gegenübergestellt. Beim Vergleich fällt die qualitative Ähnlichkeit zwischen dem Kurvenverlauf der Messung mit der Fernsehkamera vom Mai 1980 und den Kurven ,die durch Auswertung von Geländeschnitten 1970 ermittelt wurden, auf. Der optische

Horizont liegt jedoch etwa in der Mitte zwischen den beiden früheren aus Geländeschnitten abgeleiteten topographischen Horizontkurven, die sich durch Berücksichtigung eines Baumbestandes von ca. 5 m Höhe voneinander unterscheiden. Die Berücksichtigung des Waldbestandes konnte 1970 nur näherungsweise erfolgen und war mangelhaft. Insbesondere gilt das für die Spitze der Kurve "mit Wald" bei einem Azimut von etwa 80° . Diese Spitze wäre nur glaubhaft, wenn zwischenzeitlich der Hang in dieser Richtung durch Abholzen wesentlich verändert worden wäre, was nicht der Fall ist. Bezieht man sich auf die neu vermessene Kurve "ohne Wald", dann wird deutlich, daß die Abschattung der Antennenapertur im gesamten Azimutbereich bei einer drei bis fünf Grad höheren Elevation beginnt als es die rein topographische Auswertung des Gelände- profils von 1970 erwarten läßt. Das ist verständlich, da die Fernsehkamera in der Regel den Erdboden nicht direkt zu orten erlaubte.

3.2 Vergleich des optischen Horizontes mit dem 11 cm - Rausch- horizont

In Abbildung 3 sind neben dem optischen Horizont vom Mai 1980 zwei gemessene Kurven relativer Rauschzunahme gegenüber Zenitstellung der Antenne angegeben (TB Nr. 22, Abb. 3). Die gewählten Niveaus $\Delta TN = 10^\circ$ K und $\Delta TN = 20^\circ$ K beinhalten sowohl den atmosphärischen Rauschbeitrag wie auch den des Erdbodens. Die Rauschkurven zeigen im wesentlichen den gleichen charakteristischen Verlauf wie der mit der Fernsehkamera aufgenommene Horizont,

jedoch liegen sie erheblich niedriger. Offenbar ist bereits eine merkliche Abschattung der Apertur eingetreten, bevor eine Beeinträchtigung der Beobachtungen festzustellen ist. Der durchweg flachere und ausgeglättete Verlauf der Rauschkurven ist ebenfalls auf den mittelnden Einfluß der Antennenapertur zurückzuführen.

Bei der $\Delta TN = 10^\circ$ K - Kurve wird der Horizont im Südbereich (AZM 160° bis 190°) vornehmlich durch den atmosphärischen Rauschanteil bestimmt. Der Einfluß der seitlich ansteigenden Hügel auf das insgesamt von der Antenne aufgenommene Rauschen ist in diesem Bereich klein.

4. Abschätzung der Gewinnverluste bei teilweiser Abschattung der Antennenapertur

Angeregt durch die Diskrepanz der in Abbildung 3 verglichenen Horizontkurven wurde mit einer Näherungsrechnung geprüft, welche Abschattungen theoretisch noch tolerierbar sind, d.h. inwieweit die "Grenzelevationskurve" (Kapitel 3.1) noch unterschritten werden kann, bevor eine erkennbare Beeinträchtigung der Beobachtungen stattfindet.

Die Flächenelemente des Antennenspiegels tragen nicht alle in gleichem Maße zur Energiebündelung im Brennpunkt bei. Durch unterschiedliche Laufweglängen der Strahlen von der Aperturebene über den Reflexionspunkt auf der Spiegeloberfläche bis zum Brennpunkt, aber auch durch die Charakteristik des Horns, das die Energie im Brennpunkt aufnimmt, kommt es zu einer Wichtung, die den

Paneelringen von innen nach außen ein abnehmendes Gewicht zugeordnet, während die Fläche jedes Ringes von innen nach außen zunimmt. Setzt man - stark vereinfachend - beim Kippen der Antenne vom Zenit zum Horizont für die abgeschattete Fläche in etwa einen Kreisabschnitt der Eindringtiefe H an, dann wird deutlich, daß die rein geometrische Fläche A bereits bei kleinen Eintauchtiefen H einen beachtlichen Flächenverlust erleidet, während die gewichtete Fläche A^*G wegen des verhältnismäßig geringen Gewichts in den Randzonen bei gleicher Eintauchtiefe H noch sehr wenig beeinflußt wird. Die entsprechenden Ergebnisse für Eintauchtiefen von 0 bis 50 m sind in Abbildung 4 für zwei verschiedene Wichtungen angegeben. Die beiden mit T1.5 und T2.8 gekennzeichneten Wichtungen tragen zwei typischen Ausleuchtungen Rechnung. T1.5 entspricht einer Ausleuchtung von -17.5 dB bei 85^ø m Durchmesser, T2.8 einer solchen von - 18.8 dB bei 100^ø m Durchmesser. Der Antennengewinn ist durch die Gleichung

$$G = \eta \frac{4\pi}{\lambda^2} A$$

definiert, d.h. er ist bei einer bestimmten Wellenlänge λ dem Produkt aus Aperturwirkungsgrad η und geometrischer Fläche A proportional. Dies entspricht grob der gewichteten geometrischen Aperturfläche bei nicht zu großen Eintauchtiefen H . Bei größeren Eintauchtiefen ist mit merklichen Formänderungen der Antennencharakteristik zu rechnen, jedoch sollten in dieser Hinsicht nach dem Kurvenverlauf der Abbildung 4 Eintauchtiefen bis zu $H = 25$ m i.a. tolerierbar sein.

Während sich bei $H = 25$ m die ungewichtete Fläche bereits um

19.5 % (-0.94 dB) verringert hat, liegen die Verhältnisse für die gewichtete Fläche günstiger:

Für die Wichtung T1.5 beträgt der Verlust nur 4 % (-0.18 dB), für die Wichtung T2.8 nur 5.5 % (-0.24 dB). Das heißt, beim 100⁰ m Teleskop sollte man bis ca. 25 m Eintauchtiefe nur etwa 0.2 dB Gewinnabfall bekommen.

5. Modifikation des optisch gemessenen Horizontes bei Berücksichtigung von tolerierbaren Abschattungen.

In Abbildung 5 ist neben dem " Grenzhorizont" vom Mai 1980 eingezeichnet, welcher Horizont in etwa gilt, wenn man die in Abschnitt 4 abgeleitete Eintauchtiefe von $H = 25$ m in den Grenzhorizont zulassen will. Diese Kurve entspricht bereits in weiten Azimutbereichen der gemessenen $\Delta TN = 10^{\circ}$ K - Rauschtemperaturkurve aus Abbildung 3, die ebenfalls punktiert mit eingezeichnet ist.

Abgeleitet wurde diese modifizierte Horizontkurve für $H = 25$ m Eintauchtiefe aus der gemessenen Kurve vom Mai 1980 unter Zuhilfenahme der bekannten Hindernisentfernungen E.

Die relative Höhe über dem Schienenniveau (319 m Meereshöhe) läßt sich aus bekannter Elevation und aus der Hindernisentfernung zurückrechnen:

$$Hr = E^* \tan (ELV)$$

Diese relative Höhe muß um die Eintauchtiefe vermindert werden:

$$Hr' = Hr - 25 \text{ m}$$

Diese neue relative Höhe Hr' bestimmt bei gleicher Hindernisentfernung die neue, reduzierte Elevation:

$$ELV' = \arctan (Hr'/E)$$

Diese Horizontkurve für 0.2 dB Gewinnabfall (oder 13° K zusätzliches Rauschen durch den Erdboden) ist für viele Beobachtungen z.B. von starken Radioquellen sicher tolerierbar.

Will man jedoch bei Beobachtungen einen Rauschtemperaturanstieg gegenüber der Zenitstellung der Antenne von insgesamt 10° K zulassen (Vgl. z.B. Abb. 3, 11 cm Rauschhorizont für $\Delta TN = 10^\circ$ K) dann läßt sich für diesen Wert mit Hilfe eines einfachen Atmosphärenmodells ebenfalls eine modifizierte Horizontkurve aus dem ursprünglichen Horizont ($ELV = f(AZM)$) ableiten.

Die Zunahme des atmosphärischen Rauschbeitrages beim Kippen der Antenne vom Zenit zum Horizont infolge Extinktion läßt sich wie folgt beschreiben:

$$\Delta T (\text{Atm}) = T^* (\epsilon(z=0) - \epsilon(z)) \text{ mit } \epsilon(z) = p^{-\sec z} \text{ und } z = 90^\circ - ELV$$

Sie ist in dieser Form auf den Zenitwert normiert. Nimmt man für p einen typischen Wert ($p = 1.013$) an, dann kann T^* so bestimmt werden, daß bei 10° Elevation $\Delta TN = 10^\circ$ K wird (siehe Abb. 3, Südbereich). T^* hat dann den Wert 170° K. Dieses Atmosphärenmodell wird im folgenden verwendet, wenn der atmosphärische Rauschanteil berücksichtigt werden soll. Der gesamte Rauschanstieg ist die

Summe aus dem atmosphärischen Anteil und dem Beitrag des Bodens:

$$\Delta T_N = \Delta T(\text{Atm}) - \Delta T(\text{Boden})$$

Dabei ist $\Delta T(\text{Atm})$ von der Elevation nicht aber vom Azimut abhängig, während der Anteil $\Delta T(\text{Boden})$ von Elevation und Azimut der Antenne abhängt.

Löst man nach dem unbekanntem Temperaturverlauf $\Delta T(\text{Boden})$ auf, dann ergibt sich

$$\Delta T(\text{Boden}) = \Delta T_N - \Delta T(\text{Atm})$$

Die nach Berücksichtigung der Atmosphäre verbliebene Temperaturdifferenz $\Delta T(\text{Boden}) = f(\text{AZM}, \text{ELV})$ bestimmt die Eintauchtiefe der Antenne in das Gelände. Ein direkter Zusammenhang $\Delta \text{ELV} = H = f(\Delta T(\text{Boden}))$ besteht leider nicht. Man muß versuchen, diese Beziehung über einen Umweg herzustellen. Dazu verwendet man den Ansatz, daß bei voller Abschattung der Antenne etwa 75% von 290°K über den Beugungsbereich in die Antenne gelangen. Normiert man $\Delta T(\text{Boden})$ auf diesen Wert, dann bedeutet das eine teilweise Abschattung, der eine bestimmte Eintauchtiefe entspricht. Bildet man noch aus $p(H) = \Delta T(\text{Boden}) / (0.75 * 290^\circ \text{K})$ das Komplement zu 1

$$A(H) = 1 - p(H)$$

dann kann man aus den Kurven A*G der Abbildung 4 einen Mittelwert

für die Eintauchtiefe ablesen. Der weitere Rechengang entspricht dem zu Beginn dieses Abschnitts erläuterten Weg, wenn man für die neue relative Höhe $Hr' = Hr - H$ einsetzt. Nachdem die neue Elevation ELV' bekannt ist, müßte der Rechengang mit diesem Wert wiederholt werden, um durch Iteration das Ergebnis zu verbessern. Ein Versuch hat jedoch gezeigt, daß bereits der Beitrag des zweiten Iterationsschrittes geringer ist, als es die Genauigkeit, die man bei Auswertungen dieser Art erwarten kann, erfordert. Daher wird bereits das Ergebnis des ersten Iterationsschrittes als entgültiges Ergebnis genommen.

Der auf diese Weise gewonnene neue Horizont wird in Abbildung 6 dem 1972 gemessenen 11 cm - Rauschhorizont für $\Delta TN = 10^\circ$ K gegenübergestellt. Die Übereinstimmung beider Kurven ist recht gut. Die Abweichungen voneinander bleiben fast durchweg kleiner als 2° in Elevation.

Um auch noch die Transparenz des Waldes bei langen Wellenlängen (die Messungen wurden bei $\lambda = 11$ cm durchgeführt) zu prüfen, wurde die gleiche Methode auf den 1970 ausgewerteten topographischen Horizont (Abb. 2) angewendet, da die optische Vermessung hinsichtlich der Bodenkontur nur ungenügende Informationen liefert. In diese Richtung weist, daß in Abbildung 6 im Bereich zwischen 60° und 110° Azimut, in dem neben der Wipfelhöhe auch die Bodenbegrenzung in etwa bekannt ist, eine gute Annäherung des optischen Horizontes an den Rauschhorizont bereits ohne Berücksichtigung eines atmosphärischen Rauschbeitrages deutlich wird, sodaß ein Versuch in dieser Richtung erfolgsversprechend zu sein scheint.

Die Abbildung 7 zeigt als ausgezogene Kurve den entsprechend modifizierten topographischen Horizont. der Gesamtrauschanstieg gegenüber der Zenitstellung der Antenne wurde wieder auf 10° K festgesetzt, sodaß ein Vergleich mit dem 11 cm - Rauschhorizont möglich wird. Der Rauschhorizont ist wieder punktiert eingezeichnet. Beide Kurven zeigen eine gute Übereinstimmung sowohl was den charakteristischen Verlauf anbelangt als auch hinsichtlich der horizontbestimmenden Elevationen. Die größten Abweichungen ΔELV betragen 1.5° , meistens sind sie geringer. Abweichungen dieser Größenordnung sind im Hinblick auf das verwendete Auswerteverfahren als geringfügig anzusehen. Die gute Übereinstimmung deutet darauf hin, daß bei einer Wellenlänge von 11 cm die Transparenz des Waldes noch groß ist, sodaß der Wald im Hinblick auf den Rauschbeitrag nicht als Teil des Bodens angesehen werden kann.

6. Zusammenfassung

In Abbildung 8 sind noch einmal vier Kurven zusammengestellt, die allen wichtigen Bedürfnissen für den Meßbetrieb Rechnung tragen sollten.

Der optische Horizont (1) entsprechend Abschnitt 2 gibt die absolute Grenze an, oberhalb derer keinerlei Beeinflussung der Apertur erfolgt. Kurve (2) zeigt den Rauschhorizont für einen Temperaturanstieg von 10° K, wie er sich aus der optischen Vermessung ergibt, wenn man den Wald als nicht transparent ansieht, eine Annahme, die besonders für kurze Wellen sinnvoll sein dürfte.

Demgegenüber beschreibt Kurve (3) den Horizont für einen Rauschtemperaturanstieg von 10° K, wie er sich aus den Messungen von 1972 bei $\lambda = 11$ cm ergab. Schließlich gibt die Kurve (4) den Horizont für einen Gewinnabfall von 0.2 dB für den Fall an, daß man den optischen Horizont als Abschattungsgrenze annimmt.

Im einzelnen dürfte die Wahl der Horizontbegrenzung vom jeweiligen Beobachtungsprogramm abhängen. Mit guter Sicherheit dürfte die obere Einhüllende der Kurven 2, 3, 4 für die meisten praktischen Meßbedürfnisse als Horizont ausreichen.

Abb. 1  Horizontabtastung mit einer Fernsehkamera (ELVO)

(im schraffierten Bereich tritt bereits Abschattung ein)

- berichtigte Elevation (ELVO'), bei der gerade noch keine Abschattung eintritt

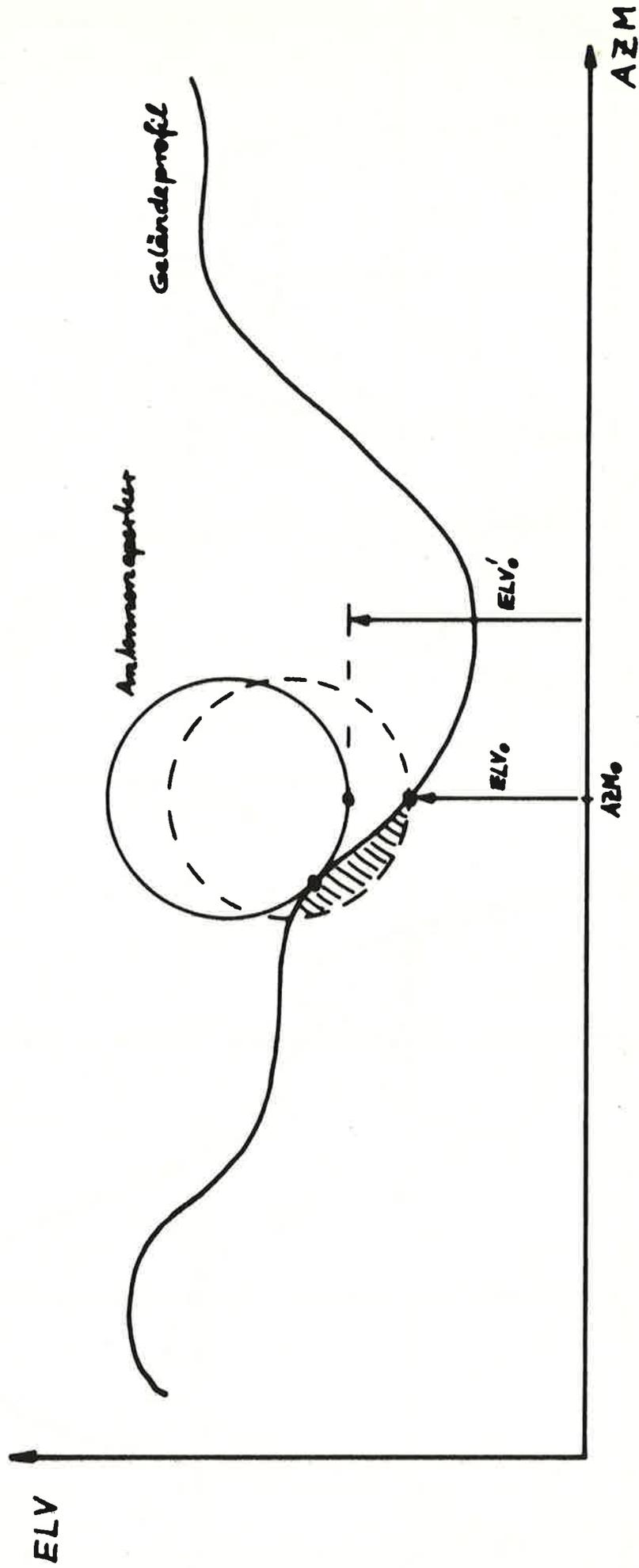


Abb. 2 — Optischer Horizont vom Mai 1980, mit Wald
 --- Optischer Horizont vom Mai 1980, ohne Wald
 *** Topographischer Horizont (1970), ohne Wald
 ●●● Topographischer Horizont (1970), mit Wald

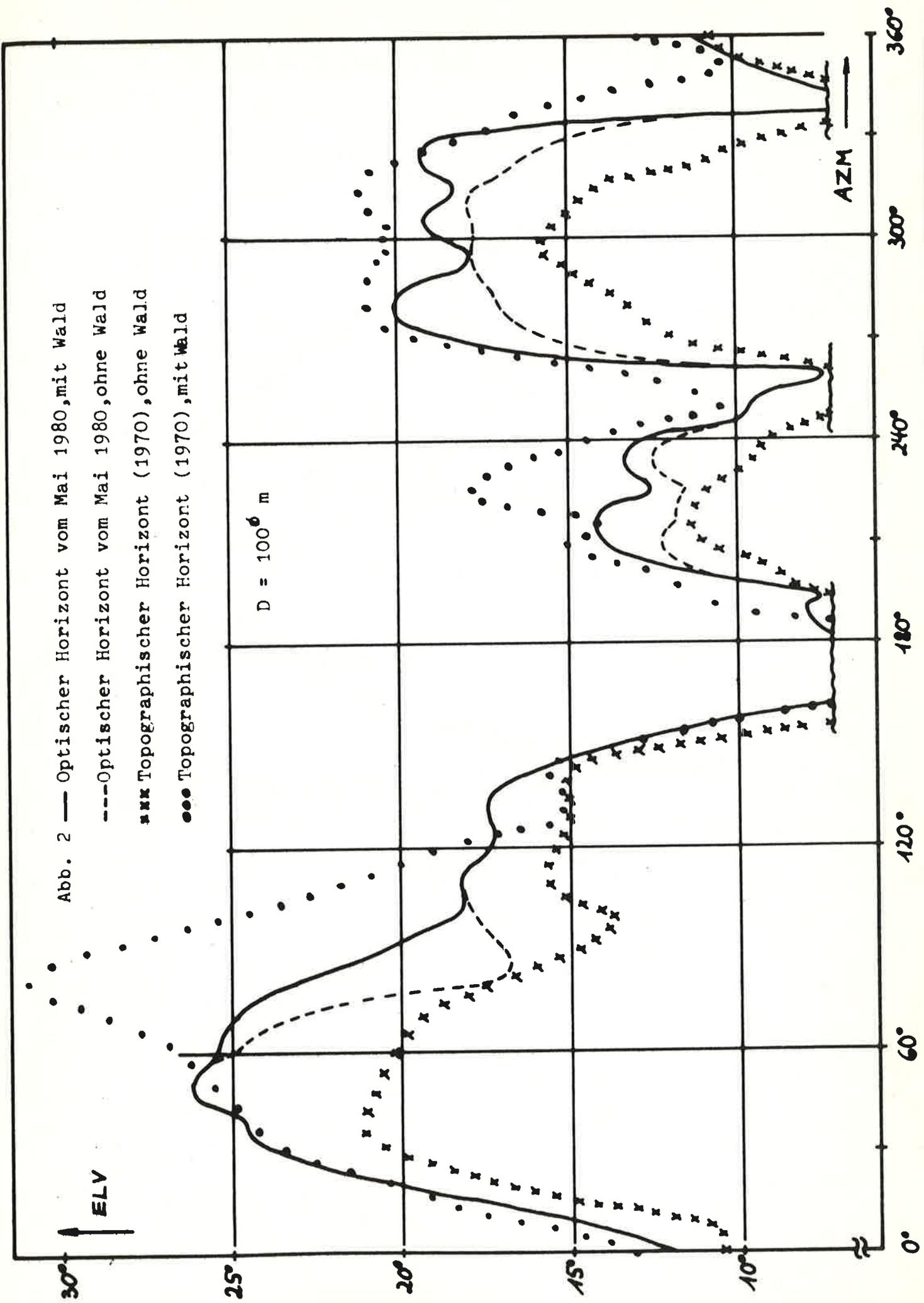


Abb. 3 —●— Optischer Horizont mit Wald

----Optischer Horizont ohne Wald

... Rauschhorizont $\Delta TN = 10^\circ K$, gemessen bei $\lambda = 11 \text{ cm}$

---Rauschhorizont $\Delta TN = 20^\circ K$, gemessen bei $\lambda = 11 \text{ cm}$

$D = 100 \text{ m}$

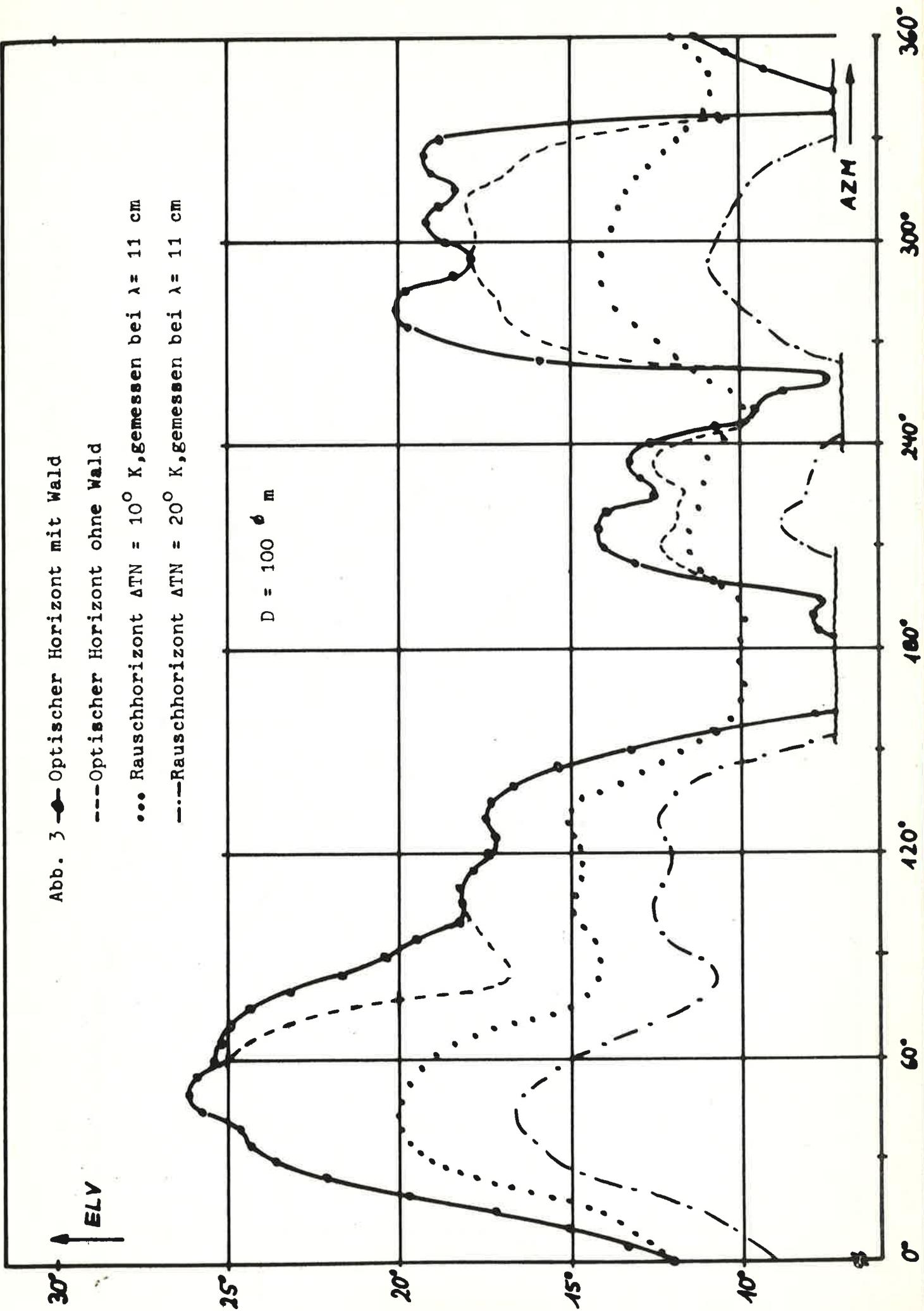


Abb. 4 Flächenverlust mit (A^{°G}) und ohne (A) Wichtung

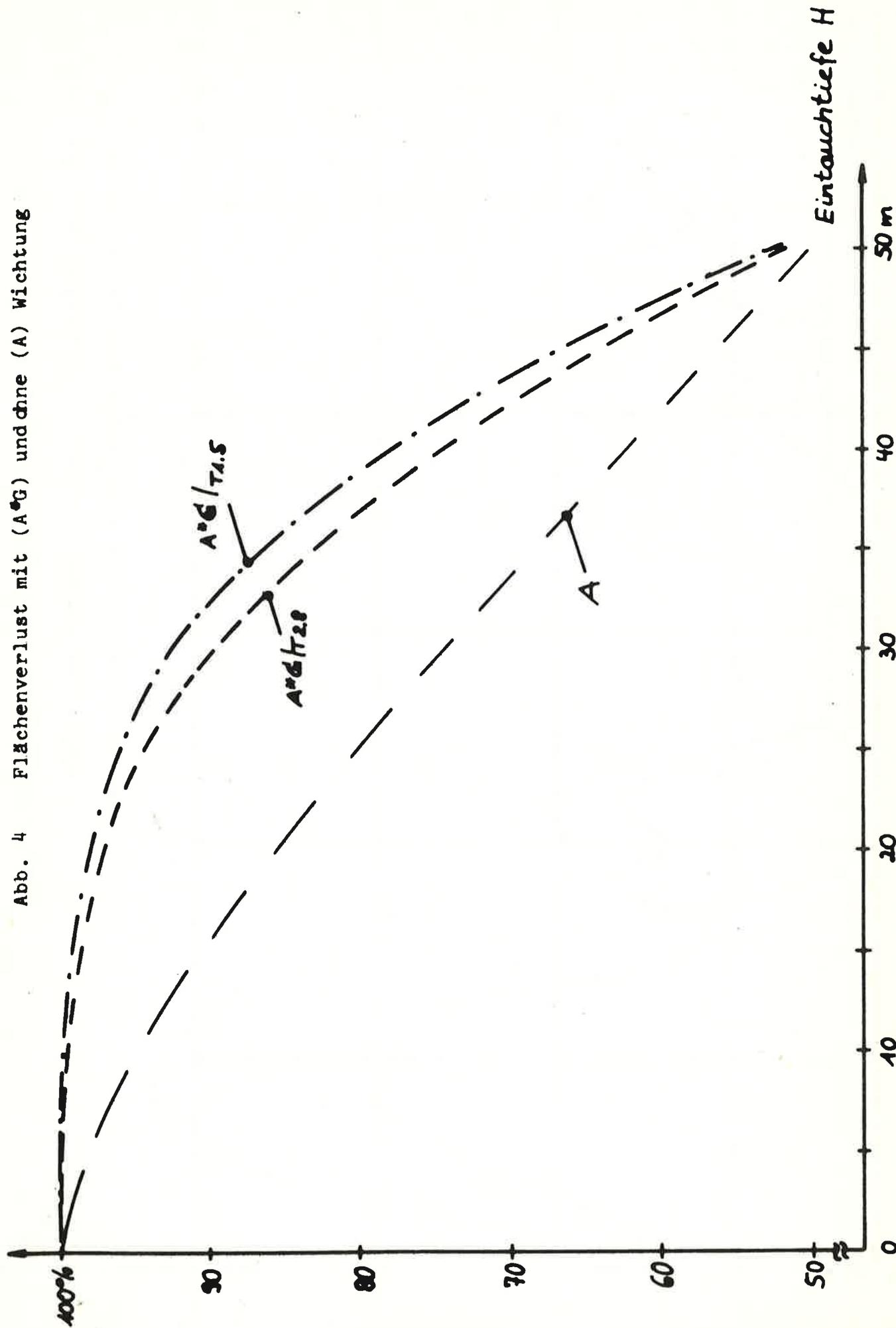


Abb. 5 — Horizont für 0.2 dB Gewinnabfall

--- Optischer Horizont (keinerlei Beeinträchtigung der Apertur)

... Rauschhorizont $\Delta TN = 10^\circ K$, gemessen bei $\lambda = 11$ cm

$D = 100^{\phi}$ m

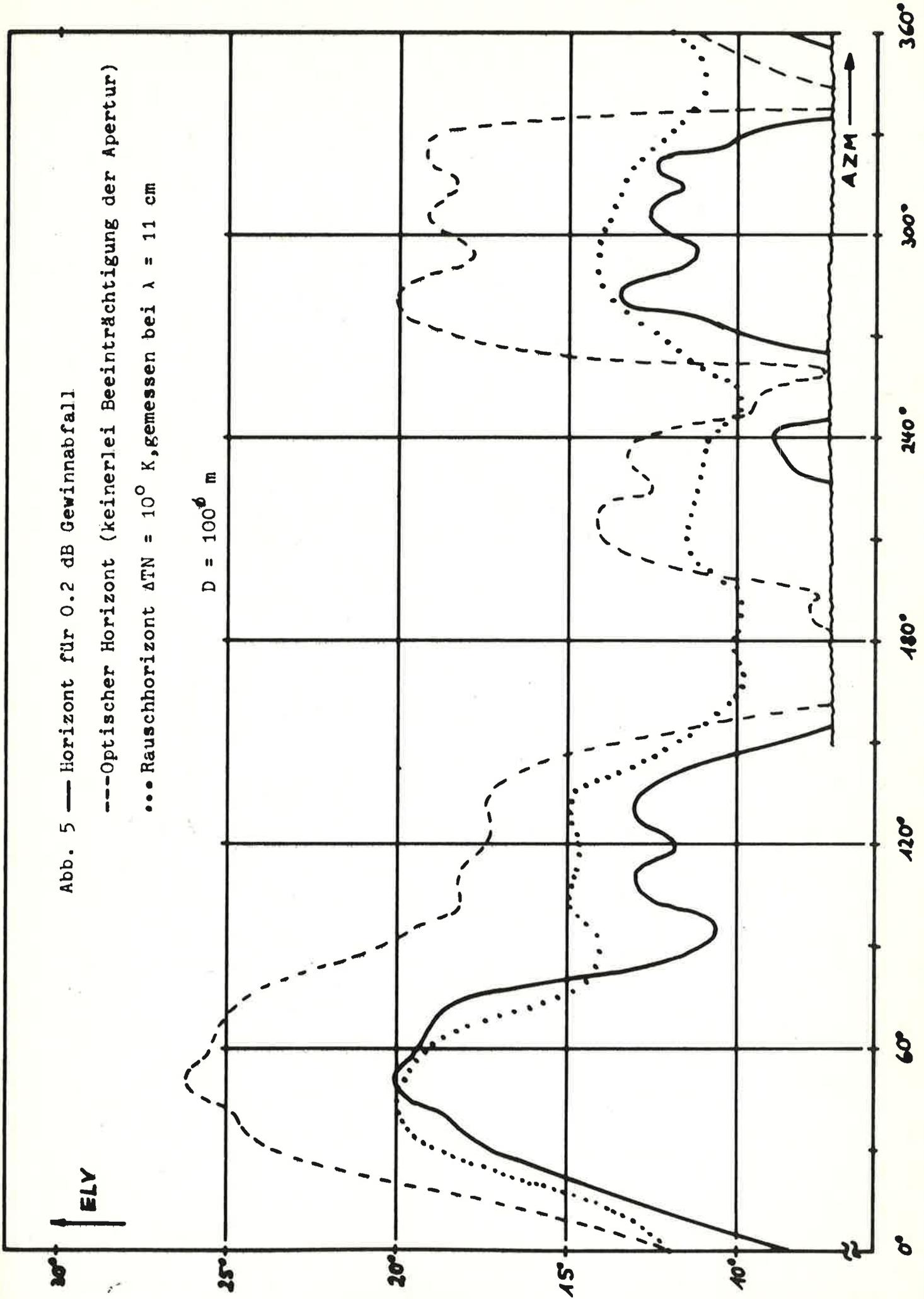


Abb. 6 --- Optischer Horizont mit Wald, (--- ohne Wald)

— daraus abgeleiteter Horizont für $\Delta T_N = 10^\circ K$

(Atmosphäre und Erdboden incl. Wald berücksichtigt)

... Rauschhorizont für $\Delta T_N = 10^\circ K$, gemessen bei $\lambda = 11 \text{ cm}$

$D = 100 \text{ m}$

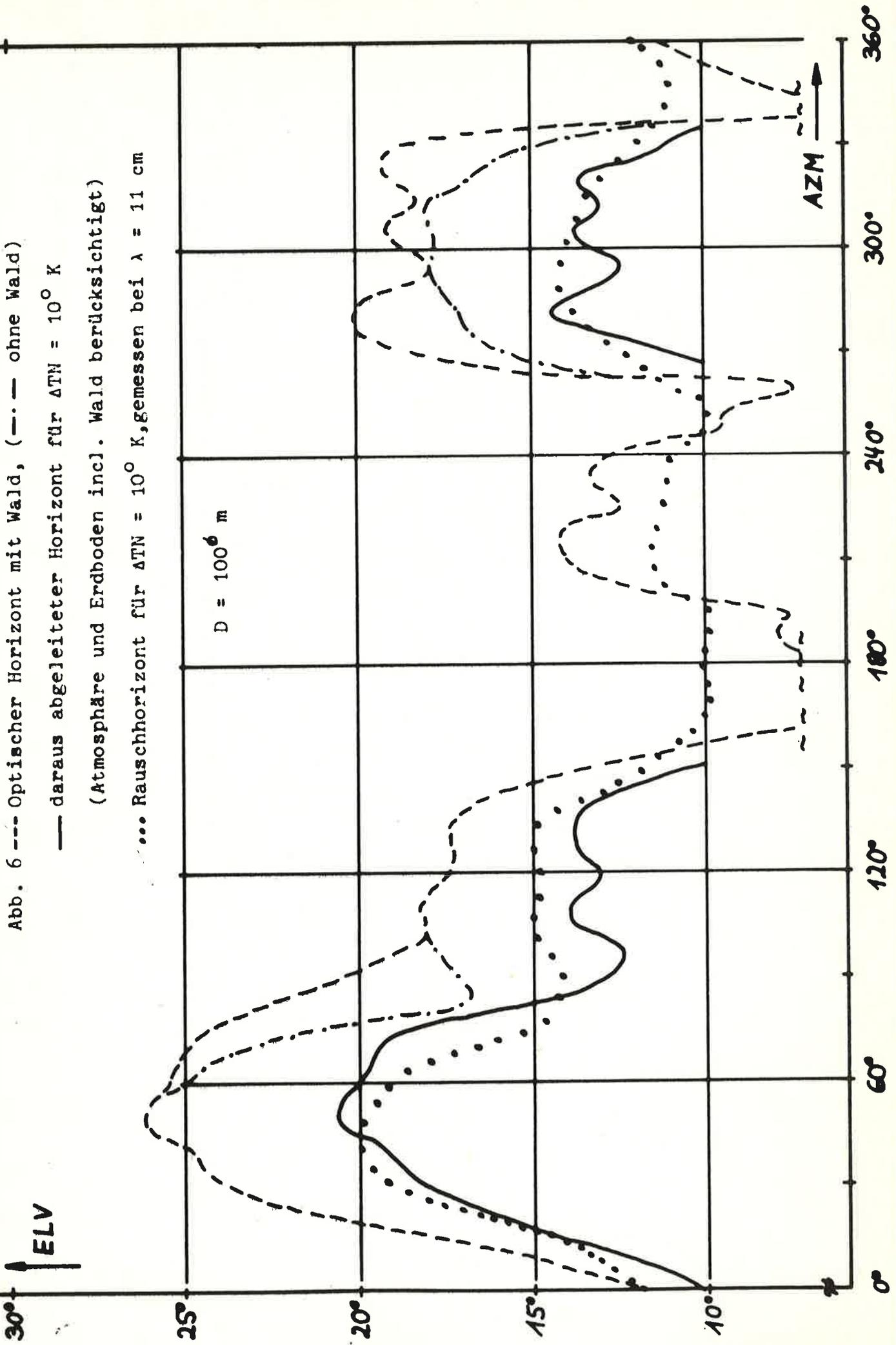


Abb. 7 ---Optischer Horizont mit Wald

— aus dem topographischen Horizont (1970) abgeleiteter
Horizont für 10° K Rauschtemperaturanstieg (Atmosphäre
und Erdboden incl. Wald berücksichtigt)

... Rauschhorizont für $\Delta T_N = 10^\circ \text{ K}$, gemessen bei $\lambda = 11 \text{ cm}$

$D = 100^\circ \text{ m}$

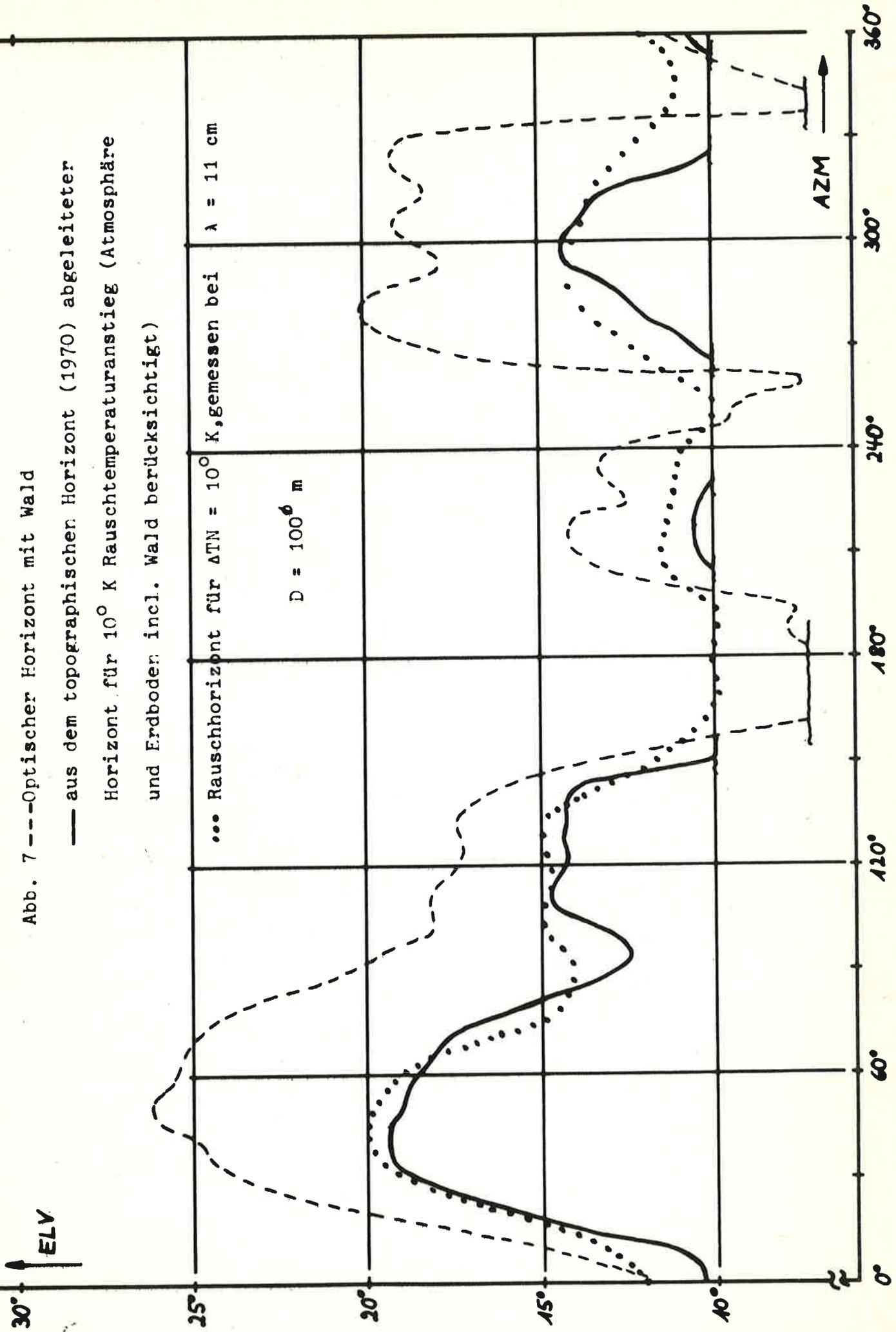


Abb. 8 ---Optischer Horizont mit Wald

(keinerlei Einfluß auf die Apertur)

xxxabgeleiteter Horizont für $\Delta TN = 10^{\circ} K$

(Atmosphäre und Erdboden incl. Wald berücksichtigt)

... gemessener Rauschhorizont für $\Delta TN = 10^{\circ} K$ ($\lambda = 11$ cm)

▲▲▲Horizont für 0.2 dB Gewinnverlust

$D = 100^{\circ} m$

