

15. März 1974

43 131, 1

Deckblatt 1

Bd 1

Abschlußbericht zur Forschungsarbeit:

551.574.7.621/315.1

Vertikalgradient Nebelfrost

Meteorolog. Dienst d. DDR
Fachabt. Erd- u. Veröff.
- Zentralbibliothek -
Potsdam

Dieser Bericht ist Teil des vorliegenden Gesamtabschlußberichtes:

Erforschung der in der DDR vorherrschenden Nebelfrostablagerungen
und Abwandlung der Ergebnisse zur Anwendung im Freileitungsbau und
-betrieb

- Meteorologischer Teil - (s. speziell Punkt 3.4) (siehe Deckblatt 2)

Planummer zum Zeitpunkt des Abschlusses der Arbeit:	54 01 10/1-023.1
Kurzbezeichnung des Themas:	Vertikalgradient Nebelfrost
Name und Anschrift der Forschungs- und Entwicklungsstelle:	Meteorologischer Dienst der DDR, Hauptamt für Klimatologie, 15 Potsdam, Michendorfer Chaussee 23
Name des Leiters der Forschungs- und Entwicklungsstelle:	Dipl.-Met. Neuber
Für die Gesamtarbeit verantwortlicher wissenschaftlich-technischer Bearbeiter:	Dr. Kolbig
An der Durchführung der wissenschaftlichen Arbeit entscheidend beteiligte Mitarbeiter:	Dr. Götschmann, Ing.-Met. Krone
Beginn der Arbeit:	
Abschluß der Arbeit:	August 1973
Abschlußbeitrag lt. Plan:	G 2
Erzielte Abschlußleistung:	G 2
Form, in der voraussichtlich die Auswertung der Ergebnisse der Arbeit erfolgt:	Bislaststandard
Voraussichtlicher Termin der Auswertung der Ergebnisse:	umgehend
Der Bericht besteht aus:	2 Bänden: 69 Seiten Textteil 62 Seiten Anlagenteil
Datum der Fertigstellung des Berichtes:	31. 8. 73

Neuber

Neuber
Leiter der Forschungs- und
Entwicklungsstelle

J. Kolbig

Dr. Kolbig
Verantwortlicher wissenschaftlich-
technischer Bearbeiter

Abschlußbericht zur Forschungsarbeit:

Erforschung der in der DDR vorherrschenden Nebelfrostablagerungen und
Abwandlung der Ergebnisse zur Anwendung im Freileitungsbau und -betrieb

- Meteorologischer Teil -

I

Kurzbezeichnung des Themas:	Nebelfrostablagerungen
Name und Anschrift der Forschungs- und Entwicklungsstelle:	Meteorologischer Dienst der DDR, Hauptamt für Klimatologie 15 Potsdam, Michendorfer Chaussee 23
Name des Leiters der Forschungs- und Entwicklungsstelle:	Dipl.-Met. Neuber
Für die Gesamtarbeit verantwortlicher wissenschaftlich-technischer Bearbeiter:	Dr. Kolbig
An der Durchführung der wissenschaft- lichen Arbeit entscheidend beteiligte Mitarbeiter:	Dr. Götschmann, Dr. Zerche
Beginn der Arbeit:	August 1963
Abschluß der Arbeit:	August 1973
Abschlußbeitrag laut Plan:	AF 3
Erzielte Abschlußleistung:	AF 3

II

Form, in der voraussichtlich die Aus- wertung der Ergebnisse der Arbeit erfolgt:	Bislaststandard
Voraussichtlicher Termin der Aus- wertung der Ergebnisse:	umgehend
Der Bericht besteht aus:	2 Bänden: 69 Seiten Textteil 62 Seiten Anlagenteil
Anzahl der angefertigten Exemplare:	10
Nummer des Exemplars:	7
Datum der Fertigstellung des Berichtes:	31. 8. 73

Neuber

Neuber
Leiter der Forschungs- und
Entwicklungsstelle

J. Kolbig

Dr. Kolbig
Verantwortlicher wissenschaftlich-
technischer Bearbeiter

43 131, Δ

Bd 1



HAUPTAMT FÜR KLIMATOLOGIE

15 Potsdam, den 197

Michendorfer Chaussee 23

Telefon: 316

Telex: 015252

Erforschung der in der DDR vorherrschenden Nebelfrostablagerungen und Abwandlung der Ergebnisse zur Anwendung im Freileitungsbau und -betrieb

- Meteorologischer Teil -

A. Textteil
=====

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	Seite
1. Technische Aufgabenstellung	1
2. Definition und Klassifizierung der Nebelfrost- und Glatteisablagerungen	4
3. Experimentelle Arbeiten und Ergebnisse	
3.1. Beschreibung der Meßmethoden, die im Meteorologischen Dienst der DDR Einsatz fanden	7
3.1.1. Grundkonzeption des Forschungsprogramms des Meteorologischen Dienstes	7
3.1.2. Stabmethode	8
3.1.3. Nebelablagerungsschreiber NFA 1	9
3.1.4. Gradientanlage Fichtelberg	11
3.1.4.1. Provisorische Anlage auf dem Großen Fichtelberg	11
3.1.4.2. Gradientanlage auf dem Kleinen Fichtelberg	12
3.1.5. Seilanlage Brocken	15
3.1.6. Meßanlage für Körper mit verschiedenem Durchmesser, Fichtelberg	16
3.1.7. Weitere Untersuchungen	17
3.2. Die regionalen Unterschiede der Häufigkeit und der Intensität von Nebelfrostablagerungen im Gebiet der DDR (nach der Stabmethode)	18
3.2.1. Zusammenfassung der gleichlautenden Teilberichte von 1967 und 1969	18
3.2.2. Ergänzende Bearbeitungen	23
3.2.2.1. Maximale Nebelfrostablagerungsmassen	23
3.2.2.2. Maximale Nebelfrostablagerungslängen	24
3.3. Nebelfrostablagerungsmassen in Ablagerungszyklen (nach Registrierungen mit dem NFA 1), Kleiner Fichtelberg, 2 m Höhe	26
3.4. Die Änderung der Nebelfrostablagerungsmasse mit der Höhe über Grund (nach Registrierungen mit dem NFA 1), Fichtelberg	28
3.4.1. Häufigkeitsverteilungen der stündlichen Nebelfrostablagerungsmassen bis 24 m Höhe über Grund	28

3.4.2.1.	Allgemeine Bemerkungen	28
3.4.1.2.	Die Ablagerungsperiode vom 15.11.1972 bis 8.3.1973	28
3.4.1.3.	Die Ablagerungsperiode vom 2.12.1970 bis 28.2.1971 (provisorische Anlage)	29
3.4.1.4.	Möglichkeit der Verallgemeinerung der Häufigkeits- verteilungen	30
3.4.2.	Die Zunahme der Nebelfrostablagerungsmassen mit der Höhe über Grund in einzelnen Ablagerungszyklen des Zeitraumes 15.11.1972 bis 8.3.1973	31
3.4.3.	Die Zunahme der Nebelfrostablagerungsmasse mit der Höhe über Grund in Abhängigkeit von der Ablagerungs- masse in 2 m Höhe, 15.11.1972 bis 8.3.1973	32
3.4.4.	Abbildung des Nebelfrostprofils auf das Windprofil	33
3.4.5.	Die Ablagerungszyklen vom 19. bis 28.11.1972 und vom 20.2. bis 22.2.1973	34
3.5.	Vergleichsmessungen zwischen den Nebelfrostablagerungs- massen am Stab und an Leiterseilen, Brocken, 2 m Höhe	35
3.6.	Vergleichsmessungen der Nebelfrostablagerungsmassen an Körpern mit unterschiedlichem Durchmesser, Klei- ner Fichtelberg, 2 m Höhe	39
3.7.	Untersuchungen über die Ablagerungsbedingungen in der DDR	41
3.7.1.	Nebelfrostablagerung und Nebeldauer (nach Stabmethode)	41
3.7.2.	Nebelfroststart und Lufttemperatur (nach Stabmethode)	41
3.7.3.	Häufigkeiten der Ablagerungsrichtungen (nach Stabmethode)	42
3.7.4.	Ablagerungsrichtungen und Ablagerungsarten bei min- destens beträchtlichen Ablagerungsmassen (nach Stab- methode)	43
3.7.5.	Nebelfrostablagerung und Windstärke (nach Stabmethode)	45
3.7.6.	Gleichzeitiges Auftreten hoher Windgeschwindigkeiten bei großen Nebelfrostablagerungsmassen (nach Registrierungen)	45
4.	Empfehlungen für Eislastannahmen aus meteorologi- scher Sicht	47
4.1.	Vorbemerkungen	47
4.2.	Vorschlag für eine "Empfehlung für Eislastannahmen aus meteorologischer Sicht"	52

5.	Empfehlungen für weitere Forschungsarbeiten	61
6.	Literaturverzeichnis	64
7.	Verzeichnis der dem VEB Verbundnetz Elektroenergie Berlin, Netzbetrieb Süd, übergebenen Teilberichte	69

1. Technische Aufgabenstellung

Nebelfrostablagerungen (Rauhreif, Rauhrost, Rauheis) sowie Glatt-
eis können durch ihre Masse und durch die Vergrößerung der Wind-
angriffsfläche zu einer wesentlichen Beanspruchung von Bauwerken
(Masten, Türme, Antennen, Freileitungen u.a.) führen. Kenntnisse
über das Auftreten dieser Erscheinungen sind deshalb von großer
technischer Bedeutung.

Da jedoch bisher keine langjährigen systematischen Untersuchungen
über das Auftreten von Nebelfrostablagerungen weder für das Gebiet
der DDR, noch im internationalen Maßstab vorlagen und somit keine
ausreichende Absicherung der Eislastannahmen für TGL-Vorschriften
möglich war, wurde von der VVB Energieversorgung Berlin im Jahre
1963 eine Forschungs- und Entwicklungsarbeit "Erforschung der in
der DDR vorherrschenden Nebelfrostablagerungen und Abwandlung der
Ergebnisse zur Anwendung im Freileitungsbau und -betrieb" aufge-
nommen, die ab 1968 von dem VEB Verbundnetz Elektroenergie Berlin
weitergeführt wurde. Im Rahmen dieses über 10 Jahre laufenden For-
schungsthemas übernahm der Meteorologische Dienst der DDR im Auf-
trage des und in Zusammenarbeit mit dem VEB Verbundnetz Elektro-
energie Berlin, Netzbetrieb Süd, die Bearbeitung folgender Auf-
gaben:

- Untersuchung über die regionalen Unterschiede der Häufigkeit
des Auftretens und der Intensität von Nebelfrostablagerungen in
der DDR in dem für den Freileitungsbau interessierenden Höhen-
bereich über Grund
- Untersuchung der Ablagerungsbedingungen in der DDR (insbesondere
Wind- und Temperaturverhältnisse bei Nebelfrostablagerungen)
- Untersuchung der Nebelfrostablagerungen an Leitungen mit unter-
schiedlichem Durchmesser und verschiedener Oberflächenbeschaf-
fenheit
- Darstellung der Ergebnisse in einer für die Entwurfspraxis des
Freileitungsbauens anwendbaren Form

Zur Bearbeitung der genannten Aufgaben wurde vom Meteorologischen Dienst der DDR ein langfristiges Forschungsprogramm durchgeführt. Die aus dem volkswirtschaftlichen Erfordernis in Abhängigkeit von den wissenschaftlichen Grundlagen und experimentellen Möglichkeiten abgeleitete Grundkonzeption für dieses Forschungsprogramm, das in einzelnen Schritten gelöst wurde, ist im Punkt 3.1.1. dargelegt und begründet.

Der vorliegende Abschlußbericht - bestehend aus einem Text- und einem Anlagenteil - enthält in konzentrierter Form Darstellungen der im MD der DDR vorgenommenen Messungen und die daraus abgeleiteten Ergebnisse. In ihm werden die Untersuchungen zum Vertikalgradienten Nebelfrost dargelegt. Darüberhinaus werden in Teilberichten mitgeteilte Zwischenergebnisse erweitert, präzisiert und zusammenfassend dargestellt.

Die Durchführung des Forschungsprogramms wurde durch die Ausnutzung aller Anforderungen der Technik im Bereich der Zweige Turm- und Mastbau, Freileitungsbau und Sendeanlagenkonstruktion gefördert.

Im Jahre 1963 wurde ein Interessentenkreis Nebelfrostforschung gegründet, aus der als Beratungsgremium die AG "Nebelfrostablagerungen" der KdT hervorging. Alle Etappen der Forschungsarbeit wurden in diesem Gremium erläutert, und die Realisierung erfolgte in der kollektiv beratenen Form. Dadurch war es möglich, in allen Phasen des Untersuchungsprogramms die Forschungsarbeiten bedarfsorientiert und multivalent nutzbar zu gestalten. Zwischenergebnisse wurden in dem Beratungsgremium vorverteidigt. Sie fanden jeweils nach ihrer Vorlage Einführung in die Praxis.

Folgende Institutionen entsandten ständige Vertreter in den Arbeitskreis Nebelfrostforschung, der von Herrn Obering. E. Bloeck vom VEB Verbundnetz Elektroenergie, Netzbetrieb Süd, geleitet wurde:

VEB Verbundnetz Elektroenergie, Berlin
VEB Energiebau, Dresden

VEB Energiebau, Berlin
VEB Energiekombinat Ost, Dresden
Deutsche Post, RFZ Berlin
Meteorologischer Dienst der DDR

Die methodischen Gesichtspunkte der Untersuchungen wurden in einer internen Arbeitsgruppe der Meteorologischen und Hydrometeorologischen Dienste der RGW-Länder abgestimmt. Dadurch wird erreicht, daß die im Zuge der sozialistischen Integration aufgestellten einheitlichen RGW-Standards auf konvertiblem Grundmaterial aufgebaut werden können.

2. Definition und Klassifizierung der Nebelfrost- und Glatteisab- lagerungen

Während der kalten Jahreszeit lagern sich bei bestimmten Wetterverhältnissen an Gegenständen, die dem Luftstrom frei ausgesetzt sind, feste atmosphärische Niederschläge in Form von Nebelfrostablagerungen und ähnlichen Erscheinungen ab.

Für die Zwecke der Technik treten diese Ablagerungen unspezifiziert, lediglich durch Volumen und Dichte bzw. komplex durch die Masse gekennzeichnet, als "Eislast" in Erscheinung.

Die Formulierung der Lastenannahme durch die Technik setzt detaillierte Kenntnisse über die in der Natur auftretenden Belastungen voraus. Aus diesem Grunde ist es erforderlich, für die Darlegung der Gesamtheit der auftretenden natürlichen Belastungen durch Nebelfrost- und Glatteisablagerungen die einzelnen Erscheinungsformen so zu unterscheiden, wie dies in der Meteorologie üblich ist. Die Charakterisierung der einzelnen Ablagerungsarten schließt außerdem Informationen (in Form von Anhaltspunkten) über die physikalische Struktur und die daraus resultierenden Eigenschaften, wie z.B. Dichte und Festigkeit (Scher- und Haftfestigkeit) ein.

Darüberhinaus sind die klassischen Beobachtungen der meteorologischen Dienste auf der qualitativen Fixierung der Ablagerungsarten aufgebaut. Nur über diese Angaben führt daher ein Weg zur einfachen Beschreibung dieser Erscheinungen, wie sie in der Praxis, z.B. zur Kennzeichnung von Havarie-Situationen, erforderlich ist.

In der Meteorologie werden die Nebelfrostablagerungsarten Rauheis, Rauhfrost und Rauheis unterschieden /11,43/.

R a u h r e i f

besteht aus feinen Eisnadeln oder hexagonalen Eisplättchen, die sich vorwiegend durch Kristallisation bei nebli-

gen, windstillen oder windschwachen Wetterlagen bilden. Seine Farbe ist rein weiß. Zur Rauhreifbildung kommt es überwiegend bei Temperaturen unter -8°C . Bei noch tieferen Temperaturen ist das Vorhandensein von Nebel für die Rauhreifbildung nicht unbedingt erforderlich. Bei Windstille ist die Ablagerung allseitig, bei leicht windigem Wetter wächst der Ansatz dem Winde entgegen.

Rauhreif läßt sich vom Ablagerungskörper abstreifen. Er fällt bei Erschütterung leicht ab. Die Mächtigkeit von Rauhreifablagerungen ist im allgemeinen gering und für technische Gesichtspunkte der Lastannahmen unbedeutend.

R a u h f r o s t

ist ein in seinem Innern vielfach körniger Überzug, der sich in Form von fasrigen Zapfen (Kegeln oder Keulen), deren Spitzen an der Ansatzstelle liegen, bildet. Zur Rauhfrostablagerung kommt es überwiegend bei Temperaturen zwischen -2 und -10°C . Die Entstehung des Rauhfrostes ist an das Vorhandensein von Nebel (unterkühlte Wassertröpfchen) und Wind gebunden. Rauhrost wächst dem Wind entgegen. Rauhrost haftet ziemlich fest an der Oberfläche des Ablagerungskörpers, läßt sich aber noch abstreifen. Die Mächtigkeit von Rauhfrostablagerungen kann beträchtliche Ausmaße annehmen.

R a u h e i s

ist ein Eisüberzug, dessen Oberfläche vielfach von höckriger oder in Strömungsrichtung gerippter Struktur ist. Es ist durchsichtig oder sieht milchig bis grauweiß aus. Zur Rauheisbildung kommt es fast durchweg bei Lufttemperaturen zwischen 0 und -3°C und Nebel. Die Ablagerungen wachsen dem Wind entgegen.

Rauheis läßt sich nur durch Abbrechen, Abkratzen, Abklopfen und Abschmelzen entfernen. Die Mächtigkeit kann beträchtliche Ausmaße annehmen.

Neben diesen eigentlichen Nebelfrostablagerungen gibt es weitere Ablagerungen, für deren Entstehung das Vorhandensein von Nebel keine notwendige Voraussetzung ist. Es handelt sich dabei um Glatteis, Frostbeschlag und Reif, wobei das Glatteis von großer technischer Bedeutung ist.

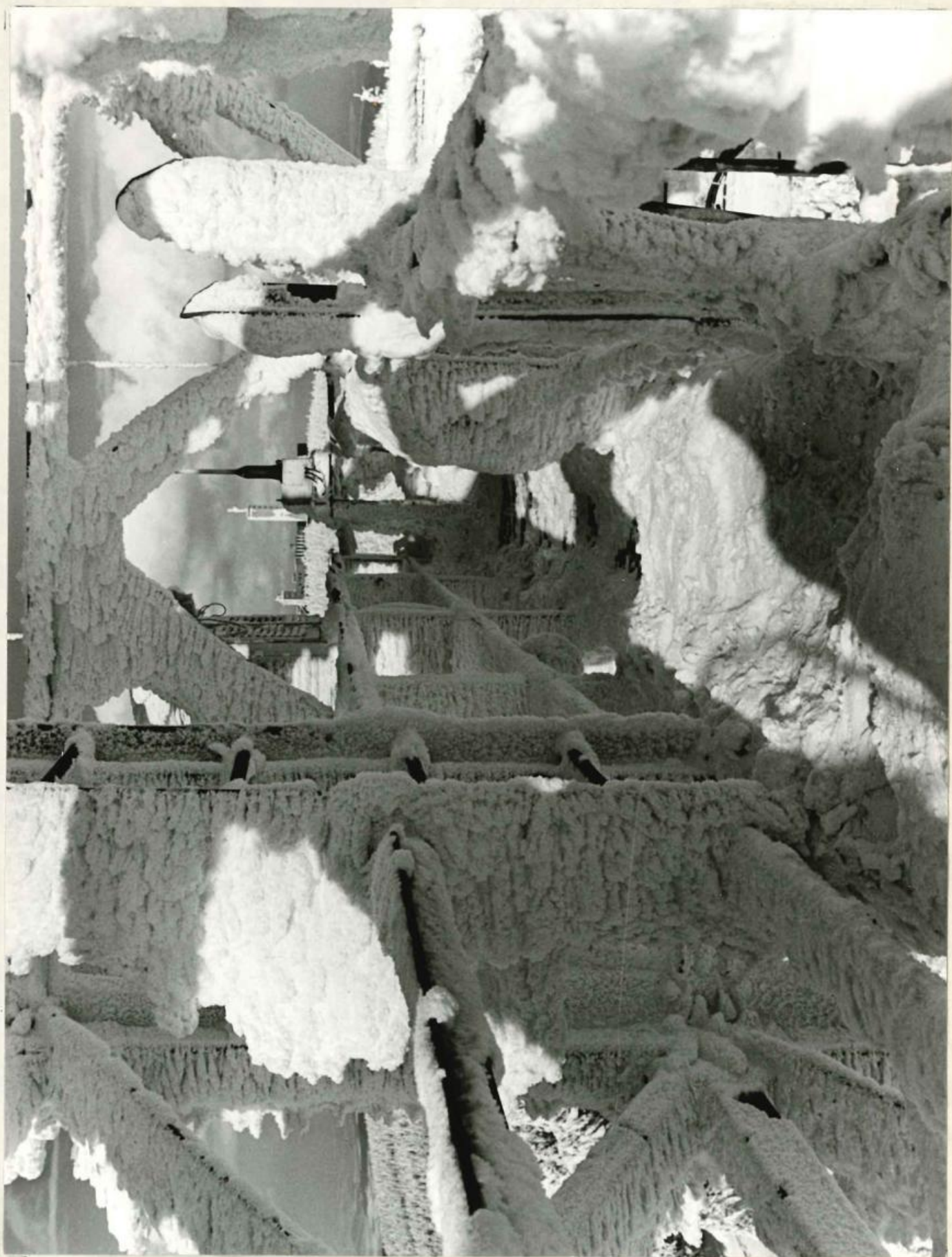
G l a t t e i s

ist ein glasiger, durchsichtiger Eisüberzug, der den Ablagerungskörper sowohl ein- als auch allseitig umschließen kann. Die Lufttemperaturen liegen bei Glatteis meist zwischen +2 und -2 °C.

Zur Glatteisbildung kommt es, wenn unterkühlte Niederschlagstropfen auf Gegenstände von Lufttemperatur oder nicht unterkühlte Tropfen auf unterkühlte Gegenstände treffen und dabei gefrierend aus- und ineinander-fließen. Glatteis haftet fest an der Oberfläche des Ablagerungskörpers. Die Mächtigkeit kann beträchtlich sein.

In der Natur treten die Ablagerungen häufig nicht in den beschriebenen reinen Formen, sondern als Mischformen auf, wobei auch nasser Schnee oder überfrorener nasser Schnee beteiligt sein kann.

Mächtige Ablagerungen bauen sich meist aus unterschiedlichen Ablagerungsarten auf, die oftmals entsprechend dem zeitlichen Wechsel der Entstehungsbedingungen deutliche Schichtgrenzen aufweisen.



3. Experimentelle Arbeiten und Ergebnisse

3.1. Beschreibung der Meßmethoden, die im Meteorologischen Dienst Einsatz fanden

3.1.1. Grundkonzeption des Forschungsprogramms des Meteorologischen Dienstes

Eine umfassende Untersuchung der Nebelfrostablagerungen im Gebiet der DDR für Zwecke des Freileitungsbaues stellt ein sowohl meßtechnisch als auch zeitmäßig sehr aufwendiges Forschungsprojekt dar, da der Forschungsgegenstand von sehr komplizierter Natur ist. Das betrifft sowohl den zeitlichen Verlauf und die Vielfalt der Struktur der Nebelfrostablagerungen als auch die großen räumlichen Unterschiede ihres Auftretens. Folgende Grundforderungen waren im Forschungsprogramm zu berücksichtigen:

Die Messungen der Nebelfrostablagerungen, die zu praktisch verwertbaren Ergebnissen führen sollten, mußten nach objektiven Methoden durchgeführt werden. Es war erforderlich, die Messungen an einer Vielzahl von Standorten und in unterschiedlicher Höhe über Grund regelmäßig und über einen ausreichend langen Zeitraum vorzunehmen, um die Aussagen über die regional sehr unterschiedliche Häufigkeit bestimmter Nebelfrostablagerungen sowie über mögliche Extremwerte ableiten zu können. Die Hauptschwierigkeit bei der Konzipierung des Forschungsprogrammes bestand damit darin, ein ausgewogenes Verhältnis zwischen dem experimentellen Aufwand zur Gewinnung von Primärdaten einerseits und der erforderlichen Detailliertheit und Sicherheit der zu entwickelten Interpretationsmethoden andererseits zu finden.

Im einzelnen wurden in der Grundkonzeption folgende Aufgaben festgelegt:

- Erfassung der potentiellen Nebelfrostgefährdung klimatisch unterschiedlicher Standorte im Gebiet der DDR mit einer Meßmethode, die relativ billig, robust und leicht zu handhaben ist, so daß sie eine einheitliche Durchführung der Messungen, zum Teil auch durch ehrenamtliche Beobachter, und eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet (Stabmethode).
- Erfassung der Nebelfrostablagerungen in Ablagerungszyklen, der Zunahme der Nebelfrostablagerungen mit zunehmender Höhe über Grund und der Nebelfrostablagerungen an Leiterseilen von unterschiedlichem Durchmesser und verschiedener Oberflächenbeschaffenheit mit aufwendigeren Meßmethoden an speziellen, geeignet ausgewählten Standorten.

- Verallgemeinerung der erhaltenen Ergebnisse der Spezialmessungen mit Hilfe der Ergebnisse des Stabmeßnetzes.

3.1.2. Stabmethode

In der DDR erfolgen seit dem Winter 1962/63 Messungen der Nebelfrostablagerungen und ähnlicher Erscheinungen in einem Sondermeßnetz. Diese Messungen werden auf Grund einheitlicher Beobachterrichtlinien nach der Stabmethode vorgenommen. Damit ist gewährleistet, daß die Ergebnisse sämtlicher Messungen untereinander vergleichbar sind.

Als Meßgerät dient ein senkrecht exponierter und somit windrichtungsunabhängiger Meßstab. Dieser wird auf einem Pfahl in 2 m Höhe über der Erdoberfläche an einem gut durchlüfteten Standort aufgestellt. Zur Messung werden nichtsorbiierende Hart-PVC-Stäbe von dunkelbrauner Farbe, einem Durchmesser von 3,6 cm und einer Meßlänge von 1,0 m verwendet (Abb.1). Die Expositionszeit des Stabes beträgt 24 Stunden (von früh 8.30 Uhr bis zur gleichen Zeit des folgenden Tages). Nach Ablauf dieses Zeitintervalls wird der exponierte Stab zur Messung der Ablagerung abgenommen und durch einen anderen gleichartigen ersetzt.

Nach der verbindlichen Beobachteranleitung werden visuell die Art der Ablagerung und durch Wägen des mit Nebelfrost (und ähnlichen Eisablagerungen) besetzten Stabes die Masse der Ablagerung bestimmt. Weiterhin werden die größte Ablagerungslänge in radialer Richtung von der Staboberfläche bis zum Endpunkt der Ablagerung und vor Abnahme des Stabes die Himmelsrichtung festgestellt, aus der sich der überwiegende Teil ablagerte. Zusätzlich wird bei aufgetretenen Ablagerungen noch die Dauer des Nebels (in Stunden) bei Lufttemperaturen $\leq 0^{\circ}\text{C}$ notiert.

Sämtliches seit 1962 angefallene Beobachtungsmaterial wurde in Lochkarten archiviert.

Im Winter 1962/63 begannen zunächst 8 Meßstellen mit diesen Messungen. In den Wintern 1963/64 und 1964/65 kamen weitere 26 hinzu. Um die regionalen Unterschiede auf dem Gebiet der DDR erfassen zu können, erfolgte eine möglichst günstige Verteilung der Meßstellen über das gesamte Territorium (Abb. 2). Dabei wurde den Wünschen des VEB Verbundnetz Elektroenergie Berlin, Netzbetrieb Süd nach einer relativ großen Anzahl von Stationen im Binnentiefland der DDR besonders Rechnung getragen. Gleichzeitig wurden einige Meßstellen, z.B. in Tellerhäuser und später in Kühberg (Pöhlbachtal und Hochfläche) bei Annaberg, so angelegt, daß auf kleinem Raume lokale Unterschiede im stark gegliederten Gelände (z.B. Nebelfrostgefährdung relativ windgeschützter Täler und stark windexponierter Hochflächen) erfaßt werden können. Zur Zeit weist das Nebelfrostmeßnetz 36 Meßstellen auf.

An den Bergstationen Brocken und Fichtelberg wurde durch eine kurze Meßreihe die Veränderung der Nebelfrostablagerungsmengen mit wachsender Höhe über Grund durch parallele Meßstellen auf ihren Türmen in 22 m bzw. 19 m Höhe nach der Stabmethode untersucht. Das Ergebnis ist im Bericht über "Die regionalen Unterschiede der Häufigkeit und Intensität von Nebelfrostablagerungen" vom Jahre 1967 enthalten.

3.1.3. Nebelfrostablagerungsschreiber NFA 1

Während die Stabmethode nur diskontinuierliche Messungen zuläßt, wird für das Studium der zeitlichen Veränderung der Nebelfrostablagerungen ein Meßgerät benötigt, das die Masse der Ablagerungen kontinuierlich registriert. Ein solches Gerät sollte außerdem weitgehend wartungsfrei sein und eine Fernübertragung haben, damit der Meßwertgeber an schwer zugänglichen Standorten, wie z.B. auf Masten, einsetzbar ist.

Um eine eigene Entwicklung eines solchen Meßgerätes auf das Nötigste zu beschränken, wurde nach dem Vorbild des von Kondel

in der CSSR entwickelten Geligraphen in den Jahren 1965 bis 1968 im Auftrage der Deutschen Post ein Meßgerät mit Fernanzeige entwickelt, das auch für die Zwecke der Forschungsarbeit für den VEB Verbundnetz Elektroenergie eingesetzt werden konnte.

Der Nebelfrostablagerungsschreiber NFA 1 besteht aus dem Meßwertgeber, dem Steuer- und Anzeigegerät und dem Kompensationschreiber. Als Meßwertgeber dient ein korrosionsgeschütztes, stabiles Gehäuse mit dem darüber befindlichen PVC-Stab von 36 mm Durchmesser und 500 mm Länge (s. Abb. 3). Der Meßstab entspricht damit dem Stab des Standardmeßnetzes halber Länge.

Das Zwischenstück zwischen Gehäuse und Stab wird beheizt, damit die Ablagerungen von beiden nicht zusammenwachsen, und eine einwandfreie Messung erreicht wird.

Der Nebelfrostablagerungsschreiber NFA 1 arbeitet mit dem Wägeprinzip unter Ausschaltung des Windeinflusses durch spezielle Dämpfung. Der Meßbereich beträgt 30 bis 5000 g, die Meßgenauigkeit $\pm 5\%$. Eine Fernübertragung ist maximal über 400 m möglich.

Eine detaillierte Beschreibung des Meßgerätes befindet sich im Teilbericht "Ausführlicher Zwischenbericht zum Thema Vertikalgradient Nebelfrost" vom 4.1.1972.

Mit dem NFA 1 wurden die Nebelfrostablagerungsmassen in Ablagerungszyklen registriert. Dabei wird unter Ablagerungszyklus der Zeitraum verstanden vom Beginn einer Nebelfrostablagerung bis zu dem Zeitpunkt, an dem die Ablagerungsmasse nicht mehr zunahm bzw. eine Rückbildung durch Strahlungseinfluß oder Abfall vorhanden war. Am Ende eines Ablagerungszyklusses wurden die Ablagerungen am NFA 1 entfernt, um vergleichbare Ausgangsbedingungen für einen neuen Zyklus zu schaffen.

3.1.4. Gradientanlage Fichtelberg

3.1.4.1. Provisorische Anlage auf dem Großen Fichtelberg

Für die Errichtung einer Meßanlage zur Erfassung der Zunahme der Nebelfrostablagerungen mit zunehmender Höhe über Grund wurde der Fichtelberg (1214 m) ausgewählt, der hinsichtlich seiner Nebelfrostgefährdung eine normale Lage im Kammniveau der Mittelgebirge repräsentiert.

Die Auswahl des Meßpunktes für die Gradientuntersuchungen erfolgte unter dem Gesichtspunkt der Sammlung eines umfangreichen Grundmaterials in kurzer Zeit. Es ist möglich, aus den in diesem Gebiet, in dem normalerweise keine Freileitungen errichtet werden, erhaltenen Meßergebnissen mit Hilfe meteorologischer Gesetzmäßigkeiten Aussagen für die Teile des Territoriums, für die Angaben erforderlich sind, abzuleiten.

Vor Beginn des Winters 1970/71 sollte auf dem Kleinen Fichtelberg ein 380-KV-Mast mit einer Höhe von 60 m errichtet werden. Zu diesem Termin konnte ein solcher Mast jedoch nicht beschafft werden. Da die Vorbereitungen meß- und auswerttechnischer Natur beim Meteorologischen Dienst soweit angelaufen waren, daß die Untersuchungen zeitgerecht hätten aufgenommen werden können, wurden vorhandene Meßplätze an der Meteorologischen Station Großer Fichtelberg in Eigenleistung so umgerüstet, daß im Winter 1970/71 wenigstens vorklärende Messungen des Vertikalgradienten Nebelfrost durchgeführt werden konnten.

An einem der 16 m hohen Gittermastender Großseilanlage wurden in 9 und 16 m Höhe Traversen angebracht, die auf der einen Seite die Nebelfrostablagerungsschreiber, auf der anderen heizbare Kontaktanemometer zur Messung der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit trugen (Abb. 4). Weitere Meßstellen befanden sich auf der Meßwiese in 2 m Höhe und auf dem Dach des Gebäudes der Meteorologischen Station (Wet-

terwarte) in 21 m Höhe. Auf dem Dach wurde kein Anemometer aufgestellt, da sich hier der Böenschreiber der Station befindet.

Die Registrierung der Nebelfrostablagerungsmasse (Kompensationsschreiber) und der Wingschwindigkeit (Impulszähldekade) erfolgte in einer speziell dafür eingerichteten Meßhütte (Abb. 5).

Eine ausführliche Beschreibung der Meß- und Registriergeräte sowie die Anleitung zur Betreuung der Meßanlage enthält der Teilbericht "Ausführlicher Zwischenbericht zum Thema Vertikalgradient Nebelfrost" vom 4.1.1972.

Die Messungen an der provisorischen Gradientanlage dauerten vom 2.12.1970 bis 28.2.1971.

3.1.4.2. Gradientanlage auf dem Kleinen Fichtelberg

Im Sommer 1971 begannen die Vorbereitungen zur Errichtung eines Ersatzmastes auf dem Kleinen Fichtelberg. Seine Höhe wurde aus Standsicherheitsgründen auf 24 m bemessen. Es wurde kollektiv entschieden, daß die Sammlung von Primärdaten für diese gegenüber den Ausgangsbedingungen stark reduzierten Meßhöhen trotzdem durchgeführt wird. Der nicht unerhebliche Informationsverlust wurde, da keine andere Möglichkeit zur Schaffung eines geeigneten Geräteträgers vorhanden war, in Kauf genommen.

Der Meteorologische Dienst orientierte auf eine Installation der Meßanlage im Oktober 1971. Der Aufbau des Meßmastes begann mit Einbruch des Winters 1971 und mußte aus witterungsbedingten Gründen Ende November 1971 abgebrochen werden.

Da die meß- und auswerttechnischen Vorbereitungen seitens des Meteorologischen Dienstes im Herbst 1971 abgeschlossen waren, wurden die Geräte zu Vergleichsmessungen an Körpern mit unterschiedlichen Durchmessern genutzt (s. Pkt. 3.1.6.). Somit war die 2. Ablagerungsperiode für die termingerechte Durchführung des Forschungsauftrages verloren und der Zeitverzug auf 2 Jahre angewachsen. Es stand damit nunmehr fest, daß selbst bei pünktlicher Aufnahme der Messungen im Jahre 1972 der Abschluß des Forschungsberichtes mit der Darlegung der Meßergebnisse der Gradientanlage lediglich aus einer Ablagerungsperiode nur mit einschneidendem Vorbehalt möglich wurde (s. Pkt. 3.4.). Am 8.8.1972 wurde dem Meteorologischen Dienst vom Invest^{VEB}träger, dem VEB Verbundnetz Elektroenergie, Berlin, der vom Energiebau errichtete Mast zur Nutzung zur Verfügung gestellt. Alle technischen Einzelheiten einschließlich der Orientierung gegen Nord gehen aus den Projektunterlagen des VEB Energiebau hervor.

Der Mast ist 24 m hoch. Er ist das Kernstück des Meßgerägeträgers. Auf Traversen in 6, 12 und 24 m Höhe wird jeweils an einem Nebelfrostablagerungsschreiber das Ablagerungsgeschehen registriert. In den gleichen Höhen sind beheizte Kontaktanemometer untergebracht. Auf der Traverse in 12 m Höhe ist außerdem ein beheizter Windrichtungsmeßgeber eingesetzt. In strahlungsgeschützten Thermometerhütten sind in 12 und 24 m Höhe Temperaturmeßfühler installiert. Am Fuße des Mastes liegt die Bodenmeßstelle in 2 m Höhe. Sie ist mit Temperatur-, Windgeschwindigkeits- und Nebelfrostregistriergeräten ausgerüstet. Desweiteren ist eine Standardstabmeßstelle aufgebaut. Alle Meßwerte werden über Kabel in die ca. 25 m vom Turmfuß entfernt gelegene Meßhütte des Meteorologischen Dienstes übertragen, in der die Registriereinheiten (Analogregistrierung) arbeiten.

Die Traversenlänge wurde nach Hinweisen des RFZ (1,8 - 2 Durchmesser) so bemessen, daß in der Mehrzahl der Fälle die am Ende der Traversen exponierten Meßgeräte nicht im Stör-

bereich des Mastes liegen. Die Orientierung der Traversenrichtung erfolgte so, daß sie senkrecht zu den Windrichtungen liegt, die in der überwiegenden Mehrzahl intensive Nebelfrostablagerungen bringen.

Einzelheiten der Installation von Mast und Meßhütte sind in den Projektierungsunterlagen der PGH Eleba, Ehrenfriedersdorf vom 4.8.1971 enthalten (Abb. 6 und 7).

Zur Gewährleistung des Meßbetriebes war die Ausarbeitung einer Arbeitsschutzanweisung erforderlich, die den expeditionsmäßigen Bedingungen, unter denen die Messungen am vereisten Mast durchgeführt werden müssen, Rechnung trägt.

Nach Vorgaben des Sicherheitsinspektors des VEB Verbundnetz Elektroenergie, Berlin, Netzbetrieb Süd, wurde durch den MD eine entsprechende Anweisung ausgearbeitet, kollektiv beraten und in Kraft gesetzt. (Anlage III). Zur Erhöhung der Sicherheit der im Mast Steigenden machte es sich erforderlich, daß die Konstruktion der Handläufe an den Leiterenden in 6 und 12 m und der Verschluß des Ausstieges zur Meßplattform in 24 m Höhe verändert wurden. Diese Arbeiten wurden im wesentlichen in Eigenleistung durchgeführt. Bedauerlich ist, es, daß die dem Projektanten übermittelte Erfahrung (z.B. der Antennenwarte der Deutschen Post und des MD an der Großseilmeßanlage), daß die Leitern so anzuordnen sind, daß die hauptsächlich auftretenden Winde gegen den Rücken der Steigenden blasen, keine Beachtung fanden. Dadurch wurden die ohnehin schon schweren Arbeitsbedingungen am Mast bis an den Rand des Unmöglichen, d.h. weit über das Zumutbare hinaus, erschwert.

Messungen mit der Gradientanlage Kleiner Fichtelberg liegen bisher für den Zeitraum vom 15.11.1972 bis 8.3.1973 vor.

3.1.5. Seilanlage Brocken

Im Winter 1968/69 begannen auf dem Brocken Vergleichsmessungen der Nebelfrostablagerungsmassen am Standardstab und an Leiterseilen mit dem Ziel

- a) Beziehungen zwischen den Ablagerungsmassen am Stab und an Leiterseilen
- b) Beziehungen zwischen den Ablagerungsmassen an Seilen mit unterschiedlichen Durchmessern

zu ermitteln.

Der Brockengipfel wurde als Standort für diese Meßanlage ausgewählt, da er wegen seiner Höhe von 1142 m und seiner sehr exponierten Lage häufig Nebelfrostablagerungen hoher Intensität aufzuweisen hat. Damit war es möglich, in kurzer Zeit ein umfangreiches Grundmaterial der Vergleichsmessungen zu erhalten (s. Pkt. 3.1.4.1.). Die Seilanlage ist in Abb. 8 dargestellt. Zwischen den Befestigungsstangen befinden sich nebeneinander ein St-Al-Seil von 21,7 mm Durchmesser und ein Seil von 15,7 mm Durchmesser. Eine Meßebeine ist nord-südlich orientiert, die andere senkrecht dazu ost-westlich. Die Seillänge beträgt jeweils 1 m. Bei schneefreiem Boden oder geringer Schneehöhe sind die Seile in einer Höhe von 1,85 m über Grund angebracht, um dem Beobachter ein Herausnehmen der Seile zu erleichtern. Mit Anwachsen der Schneehöhe werden die Seile in eine höhere Halterung gelegt, so daß die Höhendifferenz Schneeoberfläche - Seil stets ca. 1,85 m beträgt.

Für die Messungen werden die Seile - wie bei der Stabmethode - aus der Halterung genommen, gewogen und gegen von Ablagerungen freie Seile ausgetauscht. Die Wägung wird zum gleichen Termin wie die Stabwägung täglich 8.30 Uhr durchgeführt. Sowohl mit der Stab-, als auch mit der Seilmethode werden also 24stündige Ablagerungen erfaßt.

3.1.6. Meßanlage für Körper mit verschiedenen Durchmesser, Fichtelberg

Da die Nebelfrostablagerungsschreiber an dem Mast, Kleiner Fichtelberg, im Winter 1971/72 noch nicht installiert werden konnten (s. Pkt. 3.1.4.2.), wurden die Geräte vorübergehend genutzt, um weitere Vergleichsmessungen der Nebelfrostablagerungsmassen an Körpern mit unterschiedlichem Durchmesser durchzuführen.

Auf dem Kahlschlag des Gipfelplateaus des Kleinen Fichtelbergs wurde folgende provisorische Meßanlage errichtet: Auf vier hintereinander montierte NFA 1 wurden Kreiszyindrische dunkle Rohre aus PVC von 500 mm Länge und 36, 50, 76 und 110 mm Durchmesser aufgesetzt (s. Abb. 9). Die Aufstellungshöhe betrug 1,80 m über Terrain. Am gleichen Standort wurde außerdem mit einem in 2 m Höhe aufgestellten Kontaktanemometer das Stundenmittel der Windgeschwindigkeit registriert.

Der Standort dieser Anlage erwies sich wegen des großen Windschutzes in ca. 2 m Höhe über Grund, der sich wegen der überdurchschnittlich hohen Zahl östlicher Winde innerhalb des Meßzeitraumes besonders bemerkbar machte, für die Vergleichsmessungen als nicht optimal. Da das Meßprogramm den Charakter eines Ersatzunternehmens hatte, wurde jedoch auf größere Investitionen zur windexponierten Geräteaufstellung von vornherein verzichtet.

Die Vergleichsmessungen liefen vom 17.12.1971 bis 9.3.1972.

3.1.7. Weitere Untersuchungen

Alle Messungen und Untersuchungen zum Problemkomplex Nebelfrost wurden unter einheitlichen konzeptionellen Vorstellungen geplant. Dadurch ist es möglich, die Untersuchungen über

die Dichte der einzelnen Ablagerungsarten und über das Ablagerungsverhalten realer Ablagerungskörper (Winkel- und Kastenprofile), die für die Belange der Deutschen Post durchgeführt wurden, auch für die Lösungen der Aufgaben des Freileitungsbaus heranzuziehen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in /27/ und /43/ enthalten.

In der ČSSR wurden in den Jahren 1968 bis 1971 umfangreiche Messungen der Nebelfrostablagerungen an Körpern aus verschiedenem Material und mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit vorgenommen. Die Zusammenfassung eines Vortrages über diese Untersuchungen, der von F. Popolansky /32/ auf dem II. Internationalen Nebelfrostsymposium in Oberwiesenthal, 1971 gehalten wurde, liegt dem Abschlußbericht als Anlage IV bei.

3.2. Die regionalen Unterschiede der Häufigkeit und der Intensität von Nebelfrostablagerungen im Gebiet der DDR (nach der Stabmethode)

3.2.1. Zusammenfassung der gleichlautenden Teilberichte von 1967 und 1969

Zur Charakterisierung der H ä u f i g k e i t des Auftretens von Nebelfrost wurde die durchschnittliche Anzahl der Tage mit Nebelfrostablagerungen (einschließlich Glatteis und ähnlicher Eisablagerungen) in Prozent der Tage des Jahres ermittelt und kartenmäßig dargestellt.

Innerhalb der DDR lassen sich bezüglich der Häufigkeit des Auftretens von Nebelfrostablagerungen zwei Gebiete unterscheiden:

1. Das gesamte Binnentiefland der DDR, einschließlich des Harzvorlandes mit Nebelfrostablagerungen in 2 bis 10 % aller Tage des Jahres.
2. Das Mittelgebirge, einschließlich des Vorlandes des Thüringer Waldes und des Erzgebirges, mit einer Nebelfrosthäufigkeit von 11 bis 40 %. Im Mittelgebirge wächst die Nebelfrosthäufigkeit mit zunehmender Seehöhe an und erreicht in den Kamm- und Gipfelregionen ihr Maximum. Eine besonders geringe Nebelfrosthäufigkeit (unter 5 %) weisen das unmittelbare Küstengebiet und ein schmaler Streifen des Binnentieflandes im Raum Halle-Leipzig-Cottbus auf.

In den Bereichen des Binnentieflandes, wo mit erhöhter relativer Luftfeuchte zu rechnen ist, wie z.B. in Flußniederungen, seen- und wasserreichen Gebieten sowie auf den windexponierten Kuppen von Hügeln und Bergen über 100 m NN, können im Vergleich zur weiteren Umgebung häufiger Nebelfrostablagerungen beobachtet werden.

Deshalb dürften sich Standorte im Spreewald und im Seengebiet südlich von Neustrelitz sowie die Höhenlagen des Fläming, der Helpter Berge mit nennenswert höheren Nebelfrosthäufigkeiten gegenüber den anderen Teilen des Binnentieflandes herausheben.

Im Mittelgebirge weisen dagegen Orte in der Nähe von Flußläufen trotz der lokal vielfach etwas höheren Luftfeuchte im allgemeinen eine geringere Nebelfrosthäufigkeit und -intensität auf als normal windexponierte Orte in gleicher Höhenlage. Das liegt daran, daß diese Standorte in Flußnähe durch die benachbarten Hänge windgeschützt sind.

Zur Charakterisierung der I n t e n s i t ä t von Nebelfrostablagerungen wurden die Ablagerungsmassen (Masse in g am 1 m langen Ablagerungsstab bei 24 Stunden Expositionszeit) herangezogen. Es lassen sich zwei ausgewählte Kategorien unterscheiden:

- Nebelfrostablagerungen mit einer Menge ab 10 g am Ablagerungsstab. Sie werden als "merkliche" Nebelfrostablagerungen bezeichnet.
- Nebelfrostablagerungen mit einer Menge ab 100 g am Ablagerungsstab. Sie werden als "beträchtliche" Nebelfrostablagerungen bezeichnet.

- Beträchtliche Ablagerungen (≥ 100 g innerhalb von 24 Stunden) traten im Beobachtungszeitraum seit 1962 fast in allen Teilen der DDR auf. Den prozentual höchsten Anteil an allen Tagen mit Ablagerungen verzeichneten die unmittelbare Küste (allerdings bei sehr geringer absoluter Häufigkeit von Tagen mit Ablagerungen) und die Gipfellagen der Mittelgebirge (bei sehr hoher absoluter Häufigkeit von Tagen mit Ablagerungen).

Aus begründeten Überlegungen kann jedoch geschlossen werden, daß auch auf den Kuppen und Bergen des norddeutschen Binnen-

tieflandes über 100 m NN beträchtliche Nebelfrostablagerungen mit einem prozentualen Anteil von $> 10\%$ auftreten.

In einigen Teilen der Bezirke Potsdam, Frankfurt/Oder, Leipzig und Dresden konnten während des bisherigen Beobachtungszeitraumes keine beträchtlichen Nebelfrostablagerungen ermittelt werden. Diese Tatsache läßt aber noch nicht den Schluß zu, daß Ablagerungen dieser Intensität hier überhaupt nicht vorkommen können.

Im Binnentiefland der DDR bestehen im vieljährigen Durchschnitt die vorherrschenden Ablagerungen an den Stäben zu 27 % aus Rauhreif und zu 40 % aus Reif. Diese Ablagerungen sind von geringer Dichte ($0,1$ bis $0,2 \text{ kg/dm}^3$). Sie werden bei starkem Wind von den Gegenständen abgeweht, auf denen sie sich abgelagert haben. Sie sind mechanisch leicht zu entfernen. Der Anteil der kompakten Ablagerungen, wie Rauhrost (6 %), Rauheis und Glatteis (beide zusammen 15 %), beträgt ca. 20 %. An der Küste (Arkona) stellt sich dagegen auf Grund der besonderen meteorologischen Bedingungen ein relativ hoher Anteil von kompakten Ablagerungen ein (Rauhrost 12 %, Rauheis 24 % und Glatteis 27 %).

In den Mittelgebirgen nimmt der Anteil von Rauhreif, Rauhrost und Rauheis mit wachsender Seehöhe zu. Das liegt daran, daß mit der Höhenzunahme eine Zunahme der Nebelhäufigkeit bei negativen Lufttemperaturen und ein Anwachsen der Windgeschwindigkeit einhergeht. In den Kamm- und Gipfellagen der Mittelgebirge stellen sich diese günstigen Bedingungen für die Bildung der Nebelfrostarten umso öfter und intensiver ein, je höher sie liegen, d.h. je häufiger die Gipfel in den Wolkenbereich hineinragen. In einer mehr maritimen Lage verstärken sich diese Situationen noch (z.B. Brocken - 1142 m NN - maritimer gelegen als der Fichtelberg - 1214 m NN -). Deshalb ist auf den niedriger gelegenen Bergen, wie Großer Inselsberg - 916 m NN - und Geisingberg - 824 m NN -,

nicht nur die Häufigkeit von Ablagerungen geringer, sondern auch der Anteil der eigentlichen Nebelfrostarten. Beim Geisingberg spielt allerdings auch noch die lokale Lage der Meteorologischen Station eine Rolle.

Die Gipfellagen der Mittelgebirge weisen insgesamt als vorherrschende Ablagerungen Rauhrost (60 %), Rauhreif (18%) und Rauheis (13 %) auf. Glatteis erreicht nur 3 %, so daß die kompakten Ablagerungen zusammen 76 % ausmachen. Während im Binnentiefland der DDR die Arten des Nebelfrostes zusammen nur 36 % betragen, erreichen sie auf den Gipfeln der Mittelgebirge 91 % aller Ablagerungen.

Häufigkeitsverteilungen aller auftretenden Ablagerungsmassen können für eine repräsentative Stationsauswahl dem Teilbericht "Die regionalen Unterschiede der Häufigkeit und Intensität von Nebelfrostablagerungen in der DDR" von 1969 entnommen werden.

Innerhalb der DDR ergeben sich - wenn von lokalen Besonderheiten, die den einzelnen Stationen ⁱⁿ eigen sind, abgesehen wird - vier Gruppen von Stationen mit sich ähnlichen Ablagerungsverhältnissen. Die einzelnen Gruppen umfassen folgende Gebiete:

1. Unmittelbare Küste (erweiterte Strandregion)
2. Binnentiefland
3. Mittelgebirgsraum, normal windexponiert, bis etwa 800müNN
4. Mittelgebirgsraum, stark windexponiert, ab etwa 650 müNN.

Stationen mit bemerkenswert hohen Ablagerungsmengen (über 200 g) wurden bisher im Binnentiefland - von der Küstenstation Arkona und von Wittenberge abgesehen - nicht gefunden. Aus meteorologischen Überlegungen kann jedoch geschlossen werden, daß auf den windexponierten Kuppen und Bergen über

100 m NN des Binnentieflandes höhere Ablagerungsmengen vorkommen als sonst im Binnentiefland.

Aus dieser Tatsache und unter Beachtung der Dichteverteilung der Ablagerungen im Binnentiefland kann abgeleitet werden, daß Nebelfrostablagerungen in diesem Raum - von einzelnen typischen Kuppenlagen abgesehen - in den untersten 5 m über der Erdoberfläche als mechanische Belastung technisch im allgemeinen von untergeordneter Bedeutung sind, lediglich bei besonderen, jedoch seltenen Wetterlagen ähneln die Entstehungsbedingungen für kompakte Ablagerungen auch im Binnentiefland stark denen des Berglandes. Bei solchen Situationen, von denen bislang jedoch keine durch diese netzmäßigen Messungen oder durch detailliertere Beobachtungen erfaßt werden konnte, entstehen Ablagerungsverhältnisse, die zu Schäden an technischen Einrichtungen und der Vegetation des Binnentieflandes führen.

Mit den unteren Lagen der Mittelgebirge sind die Gebiete in unmittelbarer Küstennähe (in der erweiterten Strandregion) im Hinblick auf die Ablagerungsmengen vergleichbar. Der im Küstenraum sehr stark ausgeprägte maritime Einfluß bewirkt im Winter eine relativ geringe Häufigkeit tiefer Lufttemperaturen. Als Folge davon sind die Bildungsmöglichkeiten für Nebelfrost stark eingeschränkt, so daß er hier seltener als im benachbarten Küstenhinterland auftritt. Wenn sich jedoch die entsprechenden Lufttemperaturen und Nebelwassergehalte bei gleichzeitig auflandigen Winden einstellen, dann kommt es im Zusammenhang mit der allgemein starken Windexposition der Küste meist zu merklichen und beträchtlichen Ablagerungen (s. Station Arkona).

In den mittleren und höheren Teilen der Mittelgebirge fallen besonders die Stationen auf, die trotz ihrer Höhenlage infolge des Vorherrschens geringer Winde (Talstationen) Ablagerungsmengen aufweisen, die vielfach denen des Binnen-

tieflandes entsprechen. Ein typisches Beispiel dafür ist die Station Gehlberg (Thüringer Wald). Auf die Ablagerungshäufigkeit wirken sich diese Unterschiede aber nicht so sehr aus.

Selbst auf den Gipfeln sowie in den gut ventilierten freien Kamm- und Hochflächenlagen kommen solche Unterschiede zwischen den Standorten noch zum Ausdruck.

Am auffälligsten scheinen sie zwischen Brocken (allseitig sehr hoch herausragender unbewachsener Gipfel) und Fichtelberg (nicht allseitig hoch herausragender Gipfel, bewachsen) zu sein. Hier muß jedoch bedacht werden, daß auch noch die Unterschiede wirksam werden, die großklimatische zwischen beiden Gipfeln bestehen.

Auf dem Meßfeld des Kleinen Fichtelberges sind die großen Ablagerungsmengen wesentlich seltener als auf dem frei gelegenen Meßfeld des Brockengipfels.

3.2.2. Ergänzende Bearbeitungen

3.2.2.1. Maximale Ablagerungsmassen

Innerhalb der DDR erreichten die größten Ablagerungsmassen (nach der Stabmethode) aus den 10 beobachteten Winterhalbjahren auf den Gipfeln der Mittelgebirge die höchsten Werte (Brocken 8200 g, Fichtelberg 1900 g, Großer Inselsberg 1495 g). Im Binnentiefland lagen sie allgemein zwischen 100 und 210 g. Auf der Nordspitze Rügens wurden jedoch 402 g gemessen. In den Mittelgebirgslagen (außer Gipfellagen) stellten sich maximale Ablagerungsmassen zwischen 170 und 450 g ein, wobei an den windgeschützten Standorten höchstens bis 230 g gemessen worden sind.

Wie unterschiedlich diese maximalen Werte auf kleinstem Raum im Mittelgebirge ausfallen können, wird durch eine Tal-lage und eine unmittelbar benachbarte, aber ca. 140 m höher gelegene windexponierte Meßstelle im Erzgebirge belegt.

Während im gleichen betrachteten Zeitraum die Talstation eine maximale Ablagerung von 118 g aufwies, erreichte die windexponierte Meßstelle auf der Hochfläche gut das Dreifache (385 g).

50 % aller festgestellten maximalen Ablagerungsmengen rührten von Rauhrost, Rauhreif und Glatteis her. Dabei überwogen insgesamt gesehen die Ablagerungen mit den höchsten Dichten (Rauhrost und Glatteis). Der Rest gehörte mehrschichtigen Ablagerungen der verschiedensten Arten an, wobei die dichtesten Ablagerungen überwiegend beteiligt waren (z.T. auch nasser Schnee im Binnentiefland und Mittelgebirge < 600 m Seehöhe).

Die Abb. 10 enthält die Abhängigkeit der maximalen Ablagerungsmasse für das Gebiet der DDR in Abhängigkeit von der Seehöhe (ab 200 m NN) und der Windexposition des Standorts. Dadurch ist es möglich, für beliebige Standorte den absoluten Höchstwert der Ablagerungsmenge in g/Tag für den 10jährigen Zeitraum 1963/72 mit einer für praktische Fragestellungen ausreichenden Genauigkeit zu entnehmen.

3.2.2.2. Maximale Ablagerungslängen

In den windexponierten Mittelgebirgslagen des Harzes und Erzgebirges wurden maximale Ablagerungslängen von 10 bis 15 cm und an windgeschützten Standorten solche von nur wenigen Zentimetern gemessen. Die höchste Ablagerungslänge in der DDR erreichte der Brockengipfel mit 40 cm. Im Binnentiefland stellten sich die maximalen Werte bis zu 4 cm ein.

Im Mittelgebirgsvorland und in Thüringen traten maximale Werte zwischen 5 und 11 cm (je nach Windexposition) auf.

In Abhängigkeit von der Seehöhe (ab 200 m NN) und der Windexposition läßt sich für das Gebiet der DDR die maximale Ablagerungslänge für den Zeitraum 1963/72 darstellen (Abb. 11). Mit Hilfe dieser Grafik ist es möglich, für jeden beliebigen Standort die maximale Ablagerungslänge in cm/Tag für den 10jährigen Zeitraum hinreichend genau zu bestimmen. Dazu ist jedoch Voraussetzung, die Windexposition eines Standortes einzuschätzen.

80 % aller gemessenen maximalen Ablagerungslängen bestanden aus Rauhreif und Rauhrost. Den Rest bestritten die Arten Schnee, Reif, die zweischichtigen Ablagerungen Reif - Rauhreif sowie Rauhreif - Glatteis.

3.3. Nebelfrostablagerungsmassen in Ablagerungszyklen (nach Registrierungen mit dem NFA 1), Kleiner Fichtelberg, 2 m Höhe

Mit der Stabmethode werden lediglich 24stündige Nebelfrostablagerungen erfaßt. Die mit dieser Methode gemessenen Maximalwerte stellen damit Mindestwerte dar, die in längeren Ablagerungszyklen überschritten werden können.

Während im Bereich des Binnentieflands der DDR im bodennahen Bereich nur sehr selten mehrtägige Ablagerungszyklen auftreten, kommen in den mittleren und höheren Lagen der Mittelgebirge, die im Winter zeitweise in die Wolken hineinragen (markante Zunahme der Zahl der Tage mit Nebel ab ca. 500 m über NN) häufig solche Ablagerungszyklen vor. Vergleichbare Bedingungen herrschen, wenn hohe Masten und Türme im Bereich des Binnentieflandes in die Wolken eintauchen.

Abb. 12 zeigt die relative Häufigkeit des Auftretens bestimmter Wolkenhöhen (in Prozent aller Stunden) in der Ablagerungsperiode November bis März für Berlin. Strichpunktiert eingetragen ist die relative Häufigkeit dieser Wolkenhöhen bei gleichzeitigem Vorhandensein von Lufttemperaturen im Wolkenniveau ≤ 0 °C. Diese Kurve gibt damit die potentielle Ablagerungsgefährdung für hohe Masten und Türme an, wie sie etwa im Bereich des Binnentieflandes vorhanden ist.

Um die in Ablagerungszyklen zu erwartenden maximalen Nebelfrostablagerungsmassen begründet abschätzen zu können, wurden die am Ende von Ablagerungszyklen mit beträchtlichen Ablagerungen in 2 m Höhe registrierten Maximalwerte (bezogen auf 1 m Stablänge) den Maximalwerten gegenübergestellt, die am Stab im Verlauf des jeweiligen Zyklusses gemessen worden sind. Innerhalb der Meßzeiträume auf dem Kleinen Fichtelberg vom 17.12.1971 bis 9.3.1972 und vom 15.11.1972 bis 8.3.1973 konnten insgesamt 17 solche Ablagerungszyklen ausgesondert werden.

Die "Verlängerungsfaktoren", die sich aus dem Verhältnis der registrierten Maximalwerte zu den maximalen Stabwerten ergaben, schwanken je nach den Ablagerungsbedingungen und der zeitlich möglichen Zuordnung des Stabwertes zum registrierten Maximalwert. Im Mittel über alle Ablagerungszyklen wurde ein Verlängerungsfaktor von 2 errechnet.

In den Zyklen, in denen ein Maximalwert von mindestens 0,4 kg/m registriert wurde, ergaben sich folgende einzelne Verlängerungsfaktoren:

				Abl. am NFA 1 (kg/m)	Abl. am Stab (kg/m)	Verlän- gerungs- faktor	
27.12.1971	14 ^h	bis	06.01.1972	10 ^h	3,100	1,160	2,7
20.01.1972	6 ^h	bis	13.02.1972	15 ^h	0,460	0,125	3,7
19.11.1972	13 ^h	bis	28.11.1972	5 ^h	0,440	0,135	3,3
06.02.1973	7 ^h	bis	06.02.1973	24 ^h	0,460	0,390	1,2
20.02.1973	19 ^h	bis	22.02.1973	9 ^h	0,980	0,650	1,5

Diese bisherigen Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß in den stärker nebelfrostgefährdeten Höhenbereichen der Mittelgebirge in Ablagerungszyklen durchschnittlich etwa die 2- bis 3fachen Ablagerungsmassen gegenüber den Werten der Stabmethode erreicht werden. Durch die Weiterführung der Messungen auf dem Kleinen Fichtelberg werden sich aus dem vergrößerten Grundmaterial noch detailliertere Aussagen ableiten lassen.



3.4. Die Änderung der Nebelfrostablagerungsmasse mit der Höhe über Grund (nach Registrierung mit dem NFA 1), Fichtelberg

3.4.1. Häufigkeitsverteilungen der stündlichen Nebelfrostablagerungsmassen bis 24 m Höhe über Grund

3.4.1.1. Allgemeine Bemerkungen

Die Nebelfrostablagerungen nehmen mit der Höhe über Grund - sowohl, was die Masse anbelangt, als auch was die Abmessungen betrifft - zu. Für die Untersuchung von Gesetzmäßigkeiten der Zunahme der Ablagerungsmasse standen die Registrierungen der Nebelfrostablagerungsmassen an der provisorischen Gradientanlage, Großer Fichtelberg (s. Pkt. 3.1.4.1.) vom 2.12.1970 bis 28.2.1971 in 2, 9, 16 und 21 m Höhe und die Messungen an der Gradientanlage, Kleiner Fichtelberg (s. Pkt. 3.1.4.2.) vom 15.11.1972 bis 8.3.1973 in 2, 6, 12 und 24 m Höhe zur Verfügung.

Aus den Registrierstreifen wurden stündliche Werte der Ablagerungsmassen entnommen.

Die stündlichen Ablagerungsmassen beziehen sich auf den Meßstab am NFA 1 von 36 mm Durchmesser und 500 mm Länge.

3.4.1.2. Die Ablagerungsperiode vom 15.11.1972 bis 8.3.1973

Abb. 13 zeigt die Häufigkeitsverteilung der stündlichen Ablagerungsmassen in 2, 6, 12 und 24 m Höhe vom 15.11.1972 bis 8.3.1973. Die Darstellung erfolgte in Summenprozenten in Wahrscheinlichkeitspapier mit logarithmischer Abszissenachse. Wie aus der Abbildung hervorgeht, lassen sich in dieser Darstellungsweise die Summenprozentwerte bis etwa 95 % durch eine Gerade annähern, d.h., die Häufigkeitsverteilungen der stündlichen Nebelfrostablagerungsmassen genügen bis

zu diesem Prozentwert einer logarithmischen Normalverteilung. Oberhalb von ca. 95 % ist nur noch eine geringere Zunahme der stündlichen Nebelfrostmassen vorhanden. Die Ursache dafür ist einmal in dem relativ kleinen bisher verfügbaren Beobachtungsmaterial, das naturgemäß keine Extremwerte enthielt, zu suchen. Zum anderen bleiben am Ende eines Ablagerungszyklusses die Ablagerungsmassen häufig mehrere Stunden lang etwa konstant.

Abb. 13 zeigt darüberhinaus die Zunahme der stündlichen Nebelfrostablagerungsmassen mit der Höhe über Grund.

50 % aller stündlichen Ablagerungen dieses Meßzeitraumes lagen in 2 m Höhe über 34 g, in 6 m über 80 g, in 12 m über 200 g und in 24 m über 300 g. In 10 % aller Stunden mit Nebelfrostregistrierungen wurden in 2 m 160 g, in 6 m 470 g, in 12 m ca. 1400 g und in 24 m 2500 g überschritten. Die Maximalwerte des Meßzeitraumes betragen in 2 m Höhe 490 g, in 6 m 1020 g, in 12 m 1850 g und in 24 m 4540 g.

In Abb. 14 wurden die Summenprozentwerte 50, 75 und 90 % in Abhängigkeit von der Höhe über Grund dargestellt. Die Abbildung zeigt, daß sich die Häufigkeitsverteilung der stündlichen Nebelfrostablagerungsmassen von 2 auf 6 m noch relativ wenig verändert (Windschutz durch den Baumbestand).

Oberhalb von 6 m Höhe ist jedoch eine deutliche Zunahme höherer Stundenwerte zu erkennen.

3.4.1.3. Die Ablagerungsperiode vom 2.12.1970 bis 28.2.1971 (provisorische Anlage)

Abb. 15 enthält die Häufigkeitsverteilungen der stündlichen Nebelfrostablagerungsmassen in 2, 9, 16 und 21 m Höhe vom 2.12.1970 bis 28.2.1971, die an der Versuchsanlage auf dem

Großen Fichtelberg gewonnen wurden. Die Darstellungsweise entspricht der ^{von}Abb. 13.

Abb. 15 zeigt wiederum eine Verschiebung der Häufigkeitsverteilungen zu höheren Werten mit zunehmender Höhe über Grund bis zur Höhe von 16 m, während die Häufigkeitsverteilung in 21 m Höhe zwischen der in 9 und 16 m Höhe liegt. In 21 m Höhe traten jedoch während des Meßzeitraumes zahlreiche technisch bedingte Ausfälle auf. Außerdem ist anzunehmen, daß die Messungen des NFA 1 auf dem Turm der Meteorologischen Station durch den Turm selbst beeinflusst sind.

In dem Zeitraum vom 2.12.1970 bis 28.2.1971 wurden in 50 % aller Stunden mit Nebelfrostablagerungen Ablagerungsmassen in 2 m Höhe von 96 g, in 9 m von 180 g und in 16 m von 420 g überschritten. In 10 % dieser Stunden traten Ablagerungen in 2 m über 1200 g, in 9 m über 1450 und in 16 m über 3500 g auf. Die Maximalwerte betragen in 2 m Höhe 4580 g und in 16 m 4680 g. In 9 m Höhe wurde der Meßbereich des NFA 1 von 5000 g überschritten.

3.4.1.4. Möglichkeit der Verallgemeinerung der Häufigkeitsverteilungen

Ein Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Ablagerungsmassen am Stab vom 15.11.1972 bis 8.3.1973 mit der mehrjährigen Häufigkeitsverteilung am Stab ergab etwa eine Übereinstimmung beider Verteilungen. Da in der Häufigkeitsverteilung des o.a. Zeitraumes die ablagerungsärmeren Monate Oktober und April nicht enthalten sind, bedeutet das, daß im Meßzeitraum 1972/73 eher etwas zu geringe Ablagerungen auftraten.

Die Messungen vom 2.12.1970 bis 28.2.1971 fielen in die ablagerungsreichen Monate des Hochwinters. Die Häufigkeitsverteilung der Ablagerungsmassen am Stab dieses Zeitraumes

ist gegenüber der mehrjährigen Häufigkeitsverteilung zu höheren Werten verschoben.

Diese Schlußfolgerungen gelten jedoch streng genommen nur für 2 m Höhe über Grund.

Eine Abschätzung der maximalen Nebelfrost^{ablagerungs-}massen, die einmal in 10 Jahren auftreten können mit Hilfe statistischer Verteilungsgesetze für seltene Ereignisse, ist auf der Grundlage des bisherigen geringen Materials noch nicht möglich.

Eine Extrapolation der Geraden in Abb. 13 und 15 über ca. 90 bis 95 % hinaus führt lediglich bei Abb. 13 in 2 m Höhe zu plausiblen Ablagerungsmassen. Ein Abknicken der Geraden, das zu einem Teil durch den zeitlichen Verlauf der Nebelfrostablagerungen (s. Pkt. 3.4.1.2.) bedingt ist, muß beachtet werden. Hierfür sind jedoch noch weitere Untersuchungen erforderlich.

3.4.2. Die Zunahme der Nebelfrostablagerungsmassen mit der Höhe über Grund in einzelnen Ablagerungszyklen des Zeitraumes 15.11.1972 bis 8.3.1973

Tabelle 1 enthält eine Zusammenstellung der maximalen Ablagerungsmassen, die am Ende gut auswertbarer Ablagerungszyklen in 2, 6, 12 und 24 m Höhe registriert worden sind.

Die Quotienten $\frac{m_{24}}{m_2}$ und $\frac{m_{24}}{m_6}$ geben das Verhältnis der jeweiligen Ablagerungsmasse in 24 m zu der in 2 bzw. 6 m Höhe an.

Dieses Verhältnis erreicht bei geringen Ablagerungsmassen in 2 m Höhe hohe Werte. Teilweise konnten die Quotienten gar nicht berechnet werden, da in 2 m Höhe keine Ablagerungen vorhanden waren.

In zwei Ablagerungszyklen traten in 24 m Höhe Ablagerungsmassen über 4000 g auf. Bei dem Ablagerungszyklus vom 20.

bis 22.2.1973 wurde dabei auch in 2 m Höhe der Maximalwert der Ablagerungsperiode erreicht. Bei dem Zyklus vom 19. bis 28.11. 1972 betrug die Ablagerungsmasse in 2 m Höhe nur 220 g.

Die Tabelle läßt den Schluß zu, daß maximale Nebelfrostablagerungsmassen in größerer Höhe sowohl bei hohen, als auch bei geringeren Ablagerungsmassen in 2 m Höhe auftreten können.

Zur Veranschaulichung von Tabelle 1 dient Abb. 16. Die Abbildung enthält ebenfalls die Höhenabhängigkeit des 50 -und 90 %-wertes aus Abb. 14.

3.4.3. Die Zunahme der Nebelfrostablagerungsmassen mit der Höhe über Grund in Abhängigkeit von der Ablagerungsmasse in 2 m Höhe, 15.11.1972 bis 8.3.1973

Um begründet abschätzen zu können, welche Zunahme der Nebelfrostablagerungsmasse mit der Höhe bei großen Ablagerungen in 2 m Höhe zu erwarten ist, wurde für jede Stunde das Verhältnis der Ablagerungsmasse in 24 m zu der in 2 m Höhe $\frac{m_{24}}{m_2}$ berechnet (keine Ablagerungen in 2 m Höhe wurde dabei mit 0,010 kg angesetzt, um zu vermeiden, daß $\frac{m_{24}}{m_2}$ unendlich wird) und eine Häufigkeitsauszählung des Verhältnisses $\frac{m_{24}}{m_2}$ in Abhängigkeit von m_2 vorgenommen.

Aus Tabelle 2 sowie Abb. 17 geht hervor, daß das maximal aufgetretene Verhältnis mit zunehmender Ablagerungsmasse in 2 m Höhe deutlich abnimmt. Bei Ablagerungsmassen in 2 m Höhe in der Klasse von 0,400 bis 0,499 kg ergaben sich Werte für $\frac{m_{24}}{m_2}$ zwischen 4,4 und 9,6. Es ist damit zu rechnen, daß bei

noch größeren Ablagerungen in 2 m Höhe das Verhältnis $\frac{m_{24}}{m_2}$ noch geringere Werte annimmt.

Die Ursache für die Abnahme des Verhältnisses $\frac{m_{24}}{m_2}$ mit zunehmender Ablagerungsmasse in 2 m Höhe liegt darin begründet, daß sehr große Ablagerungsmassen in 2 m Höhe in Form von Rauheis- oder Glatteisablagerungen (s. Pkt. 2.) auftreten. Diese Ablagerungen bilden sich bei Nebel mit relativ großen Wassertröpfchen bzw. bei Nieselregen. Da diese größeren Tröpfchen anteilmäßig stärker fallen, bestehen - abgesehen vom Windeinfluß - in 2 m Höhe im wesentlichen gleiche Ablagerungsbedingungen wie in den größeren Höhen.

Glatteisablagerungen können zu extremen Ablagerungen sowohl im Binnentiefland als auch im Mittelgebirge führen. Extrem große Ablagerungen treten nach den bisher darüber vorliegenden Kenntnissen nur sehr selten und räumlich begrenzt auf (ca. 100 bis 1000 km² Fläche). Sie haben vom meteorologischen Standpunkt aus den Charakter von Katastrophen.

3.4.4. Abbildung des Nebelfrostprofils auf das Windprofil

Da sowohl die Nebelfrostablagerungsmasse als auch die Windgeschwindigkeit mit der Höhe über Grund zunehmen, war es naheliegend zu untersuchen, ob eine Abbildung des Nebelfrostprofils auf das Windprofil möglich ist, um ggf. die schwierig in verschiedenen Höhen durchzuführenden Messungen der Nebelfrostablagerungen durch Windmessungen ersetzen zu können, bzw. um für die Abbildung die Gesetzmäßigkeiten der Windgeschwindigkeitsänderung mit der Höhe heranzuziehen, die in der Literatur in verhältnismäßig reicher Zahl enthalten sind.

Im Teilbericht "Ausführlicher Zwischenbericht zum Thema Vertikalgradient Nebelfrost" vom Januar 1972 wurde mit Hilfe der Regressionsanalyse der parallelen stündlichen Werte von

$\frac{v_i}{v_o}$ (Verhältnis der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit)
und $\lg \frac{m_i}{m_o}$ (Logarithmus des Verhältnisses der Nebelfrostab-
lagerungsmassen; Index $i \hat{=} 2, 16$ und 21 m Höhe, Index $o \hat{=} 9$ m
Bezugshöhe 9 m) folgende Beziehung für den Zeitraum 2.12.
1970 bis 28.2.1971 abgeleitet:

$$\lg \frac{m_i}{m_o} = -0,80 + 0,79 \frac{v_i}{v_o}$$

Im Rahmen der Auswertungen der Messungen des Zeitraumes vom
15.11.1972 bis 8.3.1973 wurden die Möglichkeiten und Gren-
zen einer solchen Abbildungsrelation weiter untersucht.

Abb. 18 zeigt als Summenprozentdarstellung die Häufigkeits-
verteilung der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit bei
Nebelfrostablagerungen in diesem Zeitraum, Abb. 19 die Ab-
hängigkeit des 50, 75 und 90 %-wertes von der Höhe über
Grund.

Vergleicht man Abb. 19 mit Abb. 14, so erkennt man den sehr
unterschiedlichen Charakter der Höhenabhängigkeit der Häu-
figkeitsverteilung des Stundenmittels der Windgeschwindig-
keit und der der stündlichen Nebelfrostablagerungsmassen.

Die Nebelfrostablagerungen müssen also außer von der Wind-
geschwindigkeit noch von weiteren höhenabhängigen Größen
beeinflusst werden. Diese Einflußgrößen sind einmal die Ne-
beldichte und zum anderen die unterschiedlichen Größenspek-
tren der Wolkenröpfchen.

Wolkenphysikalische Untersuchungen erfordern jedoch einen
sehr hohen meßtechnischen Aufwand (z.B. Laser), so daß zum
gegenwärtigen Zeitpunkt routinemäßige Messungen als Grund-
lage für eine Klimatologie der Wolken noch nicht durchge-
führt werden können.

Eine Abbildung des Nebelfrostprofils auf das Windprofil ist nach dem oben Gesagten nur für bestimmte Bedingungen möglich. Die Abbildung ist außerdem von der Wahl der Bezugshöhe abhängig.

Für den 50 %-Wert der Häufigkeitsverteilungen aus Abb. 14 und Abb. 19 und eine Bezugshöhe von 2 m konnte für den Zeitraum vom 15.11.1972 bis 8.3.1973 folgende Beziehung abgeleitet werden (s. Abb. 20):

$$\lg \frac{m_1}{m_0} = - 0,70 \pm 0,71 \frac{v_1}{v_0}$$

Diese Beziehung spiegelt etwa durchschnittliche Verhältnisse wider.

Für den 90 %-Wert ließ sich keine Beziehung gleicher einfacher Form finden.

3.4.5. Die Ablagerungszyklen vom 19. bis 28.11.1972 und vom 20.2. bis 22.2.1973

In den Abbildungen 21 und 22 wurden zwei Einzelbeispiele des zeitlichen Verlaufs von Nebelfrostablagerungen dargestellt. Es handelt sich um die beiden Ablagerungszyklen, bei denen im Zeitraum vom 15.11.1972 bis 8.3.1973 die höchsten Ablagerungsmassen registriert wurden. Die Abbildungen enthalten außerdem - zur Charakterisierung der Ablagerungsbedingungen - den gleichzeitigen Verlauf des Stundenmittels der Windgeschwindigkeit und den der Lufttemperatur.

Der Ablagerungszyklus vom 19. bis 28.11.1972 dauerte 209 Stunden. Die Zunahme der Ablagerungen erfolgte im wesentlichen allmählich und wurde zeitweise durch leichte Abfälle und Verdunstung infolge Strahlung unterbrochen. Die maxima-

le Zunahme der Ablagerungsmasse pro Stunde betrug in 2 m Höhe 30 g, in 24 m Höhe 200 g. Die Ablagerungen bestanden nach den durchgeführten Augenbeobachtungen überwiegend aus Raufrost. Der Wind drehte von Südost zu Beginn des Ablagerungszyklusses auf West bis Nord zur Zeit der stärkeren Ablagerungen.

Im Ablagerungszyklus vom 20. bis 22.2.1973 wurde innerhalb von 39 Stunden die maximale Ablagerung des Meßzeitraumes erreicht. Die Ablagerungen nahmen - insbesondere nach einem teilweisen Abfall - sehr rasch zu. Nach dem Abfall wurden in 24 m Höhe Zunahmen von 450 und 490 g pro Stunde registriert. In 2 m Höhe betrug die maximale Zunahme 50 g pro Stunde. Am 22.2. früh war der Dom des Mastes völlig zugewachsen. Die Ablagerungen bestanden überwiegend aus Rauheis und Glatteis. Der Wind wehte während des Ablagerungszyklusses aus Nordwest.

Die Abb. 21 und 22 zeigen, daß die Zunahme der Nebelfrostablagerungen in einer Höhe sowohl mit einer Zunahme, als auch mit einer Abnahme der Windgeschwindigkeit in dieser Höhe verbunden sein kann. Diese Tatsache stützt die im Pkt. 3.4.4. getroffene Feststellung des Vorhandenseins weiterer relevanter Einflußgrößen.

3.5. Vergleichsmessungen zwischen den Nebelfrostablagerungsmassen am Stab und an Leiterseilen, Brocken, 2 m Höhe

In den Ablagerungsperioden Winter 1968/69 bis Winter 1972/73 wurden auf dem Brockengipfel Vergleichsmessungen der Nebelfrostablagerungen am Standardstab und an zwei St-Al-Leiterseilen von 21,7 und 15,7 mm Durchmesser bei zwei Seilorientierungen durchgeführt (s.Pkt. 3.1.5.). Eine ausführliche Beschreibung der Bearbeitungsmethodik und die Ergebnisse des Meßzeitraumes 1968/70 sind im Teilbericht vom Juli 1972 dargestellt. Auf der Grundlage dieses Teilberichtes wurde eine Bearbeitung der Meßergebnisse für den Gesamtzeitraum 1968/73 vorgenommen.

Die Untersuchungen zeigten, daß es möglich ist, Abbildungsrelationen in Form von Regressionsgleichungen sowohl zwischen den 24stündigen Ablagerungen am Stab und an Seilen, als auch zwischen den Ablagerungen an Seilen von unterschiedlichem Durchmesser zu ermitteln. Die aus den Regressionsgleichungen erhaltenen Umrechnungsfaktoren sind abhängig vom Winkel zwischen der Ablagerungsrichtung und der Richtung der Seilexposition, von der Ablagerungsmasse und vom Durchmesser der exponierten Körper.

Für den technisch besonders interessierenden Fall, daß die Ablagerungsrichtung senkrecht zur Richtung der Seilexposition liegt, ergaben sich nachstehende Umrechnungsfaktoren:

a) Faktoren zur Berechnung der Ablagerungsmasse am 21,7 mm-Seil aus der Ablagerungsmasse am Stab

Zeitraum	Ablagerungsmasse am Stab [kg]						Fälle	Korrelationskoeffizient
	0,010	0,100	1,0	2,0	3,0	5,0		
1968/70	1,6	1,2	0,95	0,87	0,83	0,78	102	0,94
1968/73	2,1	1,46	1,01	0,90	0,84	0,78	162	0,93

b) Faktoren zur Berechnung der Ablagerungsmasse am 15,7 mm-Seil aus der Ablagerungsmasse am 21,7 mm-Seil

Zeitraum	Ablagerungsmasse am 21,7mm-Seil [kg]						Fälle	Korrelations-Koeffizient
	0,010	0,100	1,0	2,0	3,0	5,0		
1968/70	1,3	1,0	0,91	0,89	0,88	0,86	93	0,97
1968/73	1,1	1,0	0,94	0,92	0,90	0,89	153	0,99

Bei geringen Ablagerungsmassen sind an dem Ablagerungskörper mit dem jeweils kleineren Durchmesser etwas größere Ablagerungen vorhanden. Mit zunehmender Ablagerungsmasse lagert sich jedoch an dem Körper mit geringerem Durchmesser weniger ab als an dem mit größerem Durchmesser.

Dieser Sachverhalt wird durch die von Zobel /43/ entwickelte Theorie der Nebelfrostablagerungen bestätigt.

Auf dem Kasprowy Wierch in der polnischen Tatra wurden vom Dezember 1949 bis Mai 1953 umfangreiche Messungen der Nebelfrostablagerungen an Leitern von unterschiedlichem Durchmesser durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchung wurden von Orlicz auf dem II. Internationalen Nebelfrostsymposium in Oberwiesenthal, 1971 vorgetragen. Eine Zusammenfassung des Vortrages /31/ ist dem Abschlußbericht als Anlage V beigelegt.

3.6. Vergleichsmessungen der Nebelfrostablagerungsmassen an Körpern mit unterschiedlichem Durchmesser, Kleiner Fichtelberg, 2 m Höhe

In dem Zeitraum 17.12.1971 bis 9.3.1972, in dem die Vergleichsmessungen an Körpern mit unterschiedlichem Durchmesser (s. Pkt. 3.1.6.) durchgeführt wurden, traten - bedingt durch den Windschutz des Standortes - nur in einem Ablagerungszyklus Nebelfrostablagerungsmassen von technischer Bedeutung auf. In den übrigen Zyklen wurden lediglich Ablagerungsmassen unter 250 g/0,5 m registriert.

Die stündlichen Werte der Ablagerungsmassen des Ablagerungszyklusses vom 30.12.1971 bis 6.1.1972 sind in Abb. 23 dargestellt. Aus der Abbildung geht hervor, daß sich an dem Körper mit dem jeweils größeren Durchmesser mehr Nebelfrost anlagerte.

Maximal wurden an dem Körper mit 36 mm Durchmesser 1,550 kg/0,5 m, am 50 mm-Körper 1,6 kg/0,5 m und am 110 mm-Körper 1,840 kg/0,5 m erreicht. Damit lagerte sich am 50 mm-Körper das 1,03fache, am 110 mm-Körper das 1,19fache der Masse am 36 mm-Körper ab.

Dieser Ablagerungszyklus stellt jedoch ein Einzelbeispiel dar, aus dem keine verallgemeinernden Schlußfolgerungen gezogen werden können.

In Abb. 24 wurden alle Umrechnungsfaktoren für Ablagerungskörper unterschiedlichen Durchmessers eingetragen, die aus den Untersuchungen von Orlioz und den Messungen im Rahmen dieses Forschungsthemas entnommen werden konnten. Als Bezugskörper diente dabei das 15,7 mm-Seil, das in beiden Untersuchungen Verwendung fand. Die Umrechnungsfaktoren für Körper mit großem Durchmesser, die sich aus dem einen Ablagerungszyklus vom 30.12.1971 bis 6.1.1972 ergaben, sind in Klammern gesetzt, da sie keine statistische Aussagekraft besitzen.

Wegen der relativ guten Übereinstimmung der verschiedenen Untersuchungsergebnisse läßt Abb. 24 verallgemeinernde Rückschlüsse über die Abhängigkeit der Ablagerungsmasse vom Durchmesser des Ablagerungskörpers zu.

3.7. Untersuchungen über die Ablagerungsbedingungen in der DDR

3.7.1. Nebelfrostablagerung und Nebeldauer (nach Stabmethode)

Anhand der Beobachtungsergebnisse vom Fichtelberg wurde untersucht, ob eine Beziehung zwischen der Nebeldauer bei Lufttemperaturen $\leq 0^{\circ}\text{C}$ und der Ablagerungsmasse am Stab besteht. Da die Andauer des Nebels bei Lufttemperaturen $\leq 0^{\circ}\text{C}$ unabhängig von der genauen Ablagerungsdauer des Nebelfrostes jeweils für den Beobachtungszeitraum von 8.30 Uhr bis zur gleichen Zeit des Folgetages ermittelt wird, können die Beziehungen nur eine allgemeine Orientierung zulassen. Außerdem dürften bei weniger feststehenden längeren Nebelfrostablagerungen zunehmende Windgeschwindigkeiten trotz Nebel zu Verlusten von Ablagerungsmassen führen. Auch die Dichte des Nebels weist stärkere Schwankungen auf.

Es kann lediglich allgemein festgestellt werden, daß den größten Ablagerungsmassen (ab 600 g) bei Nebel auch die längsten Nebeldauern (12,5 bis 24 Std.) zukommen; daß aber Nebeldauern von 21,5 bis 24 Stunden in 90 % dieser Fälle Mengen < 400 g brachten. Andererseits stellten sich z.B. bei Nebeldauern bis 3 Stunden keine Mengen über 50 g und bei Nebel von 6,5 bis 9 Std. keine solchen über 350 g ein. Das bedeutet, daß für die entsprechenden Nebeldauern maximal mögliche Ablagerungsmassen existieren, die innerhalb von 24 Stunden naturgemäß nicht überschritten werden können.

3.7.2. Nebelfroststart und Lufttemperatur (nach Stabmethode)

Die Stabmethode gestattet nur, die Art der Nebelfrostablagerung, die zum Meßtermin (8.30 Uhr) festgestellt wurde, in Beziehung zum Minimum der Lufttemperatur (aus den letzten 24 Stunden, gemessen 7 Uhr) zu setzen. Das tägliche Minimum stellt sich im allgemeinen ca. 1 Stunde vor Sonnenaufgang ein. Das ist in den Hochwintermonaten die Zeit zwischen 6

und 7 Uhr.

Den Bereich, den die Häufigkeitsverteilungen (Summenprozentkurven) "Nebelfroststart und Minimumtemperatur" einer Auswahl von Meßstellen der DDR für Rauhfrost, Rauheis und Glatteis sowie Rauhreif einnehmen, zeigt Abb. 25. Die gestrichelten Kurven stellen jeweils die mittlere Kurve der beiden Kategorien dar.

Die Abb. 26 und 27 enthalten für die Gipfelstationen (Brocken und Fichtelberg zusammen) und für eine Auswahl von Meßstellen des Binnentieflands die Häufigkeitsverteilungen für die einzelnen Arten. Während im Binnentiefland noch geringe Unterschiede zwischen den Verteilungen bei Rauhfrost und Glatteis bestehen, ist das auf den Gipfeln infolge des Vorherrschens wolkenphysikalischer Prozesse nicht mehr der Fall.

Falls die Aussagen statt auf die Minimumtemperatur auf die Lufttemperatur allgemein bezogen werden sollen, macht sich infolge des täglichen Ganges eine Reduktion der Temperatur um (+ 1 bis 2 grd) erforderlich.

3.7.3. Häufigkeiten der Ablagerungsrichtungen (nach Stabmethode)

Die Ablagerung von Nebelfrost, insbesondere der dichteren Arten, erfolgt meist gerichtet. Da das auch vom technischen Standpunkt von besonderem Interesse ist, werden die Ergebnisse vorgelegt.

An nahezu allen Binnentieflandstationen überwiegen die allseitigen Ablagerungen (örtlich 30 bis 78 %). Auch dadurch drückt sich das Vorherrschen der lockeren Rauhreif- und Reifablagerungen im Binnentiefland aus.

In den Mittelgebirgen treten mit zunehmender Windexposition

die eindeutig bestimmbaren Richtungen stärker hervor. Auf den Gipfeln des Brockens und Fichtelbergs stellen sich allseitige Ablagerungen kaum noch ein (bis 3 %).

Die windgeschützten Mittelgebirgslagen weisen sogar eine den Verhältnissen des Binnentieflandes entsprechend hohe Anzahl allseitiger Ablagerungen auf. Besonders deutlich ausgeprägt ist diese Erscheinung bei der Station Gehlberg (55 % allseitige Ablagerungen). Auch im Binnentiefland weisen die windgeschützten Standorte mehr allseitige Ablagerungen auf (Station Neuglobsow - Stechlinsee 78 %) als die normal windexponierten.

Auffällig ist jedoch, daß sich auf den Bergen der Mittelgebirge die Ablagerungsrichtungen West, Nordwest und Südwest bevorzugt - wenn auch nicht überall mit gleichem Gewicht - einstellen. Da im Binnentiefland die allseitigen Ablagerungen vorherrschen, kommt dort den 8 Ablagerungsrichtungen eine untergeordnete Bedeutung zu. Deshalb treten nur örtlich im Binnentiefland die Ablagerungsrichtungen West (10 bis 25 %), Ost (14 bis 25 %) und Südwest (10 bis 15 %) nennenswert in Erscheinung.

Für technische Überlegungen dürfte wichtig sein, daß es keine Richtung gibt, aus der ein Ansatz von Ablagerungen ausgeschlossen ist. Allgemein als unbedeutende Ablagerungsrichtung erweist sich S, z.T., auch noch SE.

3.7.4. Ablagerungsrichtungen und Ablagerungsarten bei mindestens beträchtlichen Ablagerungsmassen (nach Stabmethode)

Um eine Orientierung darüber zu erhalten, welche Arten bei mindestens beträchtlichen Ablagerungsmassen am häufigsten auftreten, wurden für die einzelnen Stationen folgende Grenzwerte festgelegt:

Brocken	mindestens	1000 g
Fichtelberg	"	500 g
Großer Inselsberg	"	200 g
Ubrige Stationen	"	100 g

Die häufigsten Ablagerungsrichtungen bei mindestens beträchtlichen Ablagerungsmengen sind im Binnentiefland E, NW und NE; im Mittelgebirge NW, SW und die allseitigen Ablagerungen. Obgleich auch auf den Bergesgipfeln die besonderen meteorologischen und lokalen Verhältnisse eine wesentliche Rolle spielen, so herrschen jedoch bei mindestens beträchtlichen Ablagerungen, allgemein die Ablagerungsrichtungen NW, SW und W vor.

Im einzelnen zeigten sich hinsichtlich der beteiligten Ablagerungsrichtungen in den Gipfellagen folgende prozentuale Anteile:

Geisingberg	NW (54 %), SW (15 %), S (15 %)
Fichtelberg	NW (60 %), W (35 %), E (5 %)
Großer Inselsberg	SW (26 %), NE (21 %), S (19 %)
Brocken	W (29 %), SW (21 %), NW (15 %), N/NE (14 %), NE (13 %)

Die Überwiegenden Arten sind im Binnentiefland Rauhreif und Glatteis (in zweischichtiger Form, 25 %) und Glatteis (25 %), im Mittelgebirge Rauheis (29 %) und Rauhrost (16 %), auf Bergesgipfeln Rauhrost und Rauheis zusammen mit 65 bis 75% aller mindestens beträchtlichen Ablagerungen. Nur auf dem Geisingberg herrschen Glatteis (31 %) sowie die zweischichtigen Ablagerungen Glatteis und Rauheis (23 %) vor.

Im Binnentiefland erreichten die Ablagerungen, die von Schnee allein herrühren, noch 18 % und im Mittelgebirge ebenso wie der Reif noch 13 % aller mindestens beträchtlichen Ablagerungsmassen.

3.7.5. Nebelfrostablagerung und Windstärke in ca. 10 m Höhe über Grund (nach Stabmethode)

Eine orientierende Untersuchung der Beziehung ^{zwischen} der Nebelfrostablagerungsmenge am Stab und der Windstärke zum Beobachtungstermin 7 Uhr ergab für den Fichtelberg bei Windstärken von 4 bis 6 Bft die meisten und mengenmäßig größten Nebelfrostablagerungen. Bei Windstärken über 9 Bft stellte sich nur ein Fall ein. Ab 7 Bft sind Mengen über 250 g selten und über 650 g sehr selten. Das bedeutet, daß in höheren Lagen der Mittelgebirge dem Wind, solange er nicht zu hohe Windstärken aufweist, eine große Bedeutung im Hinblick auf die Ablagerungsintensität zukommt.

Ganz anders liegen die Verhältnisse im Binnentiefland. Dort herrschen die Ablagerungsarten Reif und Rauhreif vor. Im Gegensatz zu den häufigsten Ablagerungen auf Bergen (Rauhreif, Rauhreif und Rauheis) treten diese bei windschwachem Wetter (von der unmittelbaren Küste abgesehen) auf. Deshalb stellen sich dort 90 % aller Ablagerungen bei Windstärken bis 3 Bft ein.

3.7.6. Gleichzeitiges Auftreten hoher Windgeschwindigkeiten bei großen Nebelfrostablagerungsmassen (nach Registrierungen)

Aus den parallel vorliegenden stündlichen Werten der Nebelfrostablagerungsmassen und der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit wurden für den Meßzeitraum 15.11.1972 bis 8.3.1973 für die besonders interessierenden Höhen 12 und 24 m zweidimensionale Häufigkeitsverteilungen beider Größen vorgenommen. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 3 und 4 enthalten. Noch 0,9 % aller Stunden (10 Stunden) fielen in 24 m Höhe in die Klasse mit Nebelfrostablagerungen $> 4 \text{ kg}/0,5 \text{ m}$ und Stundenmitteln der Windgeschwindigkeit von 15,0 bis 19,9 m/s. Die höchste registrierte gleichzeitig aufgetretene Wertekombination betrug in 24 m Höhe $4,3 \text{ kg}/0,5 \text{ m}$ und

18,1 m/s. Nach Auswertungen der Registrierungen des Böenschreibers der Meteorologischen Station Fichtelberg erreichen die maximalen Windspitzen einer Stunde (Mittelung über ein Zeitintervall von 2 bis 10 Sekunden) etwa das 1,8fache des Stundenmittels der Windgeschwindigkeit, d.h., daß bei einem Stundenmittel von 18 m/s maximale Windspitzen von ca. 33 m/s aufgetreten sein können. Im Meßzeitraum vom 2.12.1970 bis 28.2.1971 wurde in 16 m Höhe zur Zeit der maximalen Nebelfrostablagerung von 4,680 kg/0,5 m ein Stundenmittel der Windgeschwindigkeit von 12,3 m/s registriert.

Die Tabellen 3 und 4 lassen bereits nach einjähriger Messung den Schluß zu, daß - wenn auch selten - hohe Windgeschwindigkeiten gleichzeitig mit großen Nebelfrostablagerungsmassen auftreten können.

4. Empfehlungen für Eislastannahmen aus meteorologischer Sicht

4.1. Vorbemerkungen

Aus dem volkswirtschaftlichen Bedürfnis, Unterlagen über Nebelfrost- und Glatteisablagerungen im Gebiet der DDR zur Verfügung zu haben, aus denen Projektierungshilfen für Freileitungen, die durch das Territorium der DDR führen, abgeleitet werden können, ergab sich die Zielstellung für die vorliegende Forschungsarbeit.

Aus den in den Vorangegangenen Abschnitten dargelegten Angaben über die Nebelfrost- und Glatteisablagerungen läßt sich prinzipiell mit einer für Projektierungszwecke ausreichenden Detailliertheit und Genauigkeit Zahlenmaterial zusammenstellen, mit dessen Hilfe in wenigen Arbeitsschritten für beliebige Punkte des Territoriums der DDR die natürliche Belastung eines Freileitungsseiles durch Nebelfrost- und Glatteisablagerungen bestimmt werden kann. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt müssen, wie ausführlich in Pkt. 3.4.1.4. begründet, für die Bestimmung der Zunahme der Ablagerungsmassen mit der Höhe über Grund in Bezug auf die Sicherheit der Aussagen noch Einschränkungen bis zum Vorliegen ausreichender Meßwerte gemacht werden.

Dieses Zahlenmaterial, das als eine Komprimierung der umfangreichen Primärdaten anzusehen ist, die die kaum überschaubare Vielfalt der Naturvorgänge mit ihren möglichen Variationen in Raum und Zeit beschreiben, stellt durch seine Systematisierung und eindeutige Interpretationsfähigkeit die Grundlage für eine "Lastannahme" im Sinne des technischen Sprachgebrauchs dar, deren Angaben durch weitere Abstraktionen ein ganz speziell auf den technischen Verwendungszweck zugeschnittenes und damit reduziertes Abbild der Natur darstellen.

Für die Wahl der Arbeitsschritte zur Bestimmung der meteorologischen Belastung und für die Bemessung der Klassenbreiten, für die einheitliche Aussagen gemacht werden, wurden bereits in den Jahren 1969/70 die damals vorliegenden noch unvollständigen Unterlagen zur praktischen Erprobung der günstigsten methodischen Variante für die Darlegung der Forschungsergebnisse als

VORLÄUFIGES ARBEITSMATERIAL

Meteorologische Grundangaben über Nebelfrost und Glatt-
eisablagerungen für das Gebiet "Mittleres Erzgebirge"
zur Festlegung von Lastannahmen für den Freileitungsbau

zusammengestellt (Anlage VI).

Dieses Material wurde von den Ingenieuren des Betriebsteiles Schwarzenberg des VEB Energiekombinat Ost praktisch bei der Überprüfung der Lastannahmen für durch Eisbelastung umgebrochene Leitungen des mittlerem oberen Erzgebirges erprobt. Die Auswertung der methodischen Erfahrungen, die bei der praktischen Erprobung des vorläufigen Materials gesammelt wurden, ergab, daß bei der Routineanwendung der meteorologischen Grundangaben für die Übersichtsdarstellungen der Dichtezuordnungen zu den verschiedenen Ablagerungsarten sowie für die Übersicht über die Häufigkeit des Auftretens der Ablagerungen kein Bedarf besteht. Selbst die Angaben über maximale Ablagerungslängen für nicht tödierbare Ablagerungskörper fanden für die Routineberücksichtigung seitens des Freileitungsbaues kein Interesse.

Das Vorläufige Arbeitsmaterial wurde durch das Energiekombinat Ost weiterhin als Grundlage für die Formulierung eines Werkstandards in die Diskussion genommen.

Die in diesem Zusammenhang vorgenommene Selektion der für die Routineanwendung relevanten Forschungsergebnisse zeigt

der mit Datum August 1972 herausgegebene Werkstandard ES-012/6018 Starkstromfreileitungen, Berechnung der Zusatzlast, Netzplanungsprojektierungs- und Bauvorschrift (Anlage VII).

Abgesehen von seinen Schwächen und der Frage der Zweckmäßigkeit des Zeitpunktes seiner Herausgabe, die nicht Diskussionsstoff dieser Betrachtung sein können, zeigt sich, daß Angaben der maximalen Ablagerungsmassen an Leiterseilen konkreter Abmessungen in Arbeitshöhe über Grund, die einmal in 10 Jahren auftreten können, als Hauptwerte für die Projektierung betrachtet werden.

Dieses Grundprinzip, das die besten Voraussetzungen für die Überleitung der Ergebnisse in die Praxis bietet, wurde auf der Beratung der KdT-Arbeitsgruppe Nebelfrostablagerungen akzeptiert.

Da - wie gezeigt werden konnte (s. Pkt. 3.7.6.) - damit gerechnet werden muß, daß maximale Windgeschwindigkeiten bei hohen Ablagerungsmassen auftreten können, werden als Grundlage für die Festlegung der Windlast Kenngrößen entsprechend dem Entwurf der Projektierungsrichtlinie des VEB Energiebau "Windzonen für Starkstromfreileitungen" vom Oktober 1972 empfohlen. Es bedarf jedoch noch der grundsätzlichen Klärung, ob die Windlast für ein Auftreten von einmal in 5 Jahren, die Eislast für ein Auftreten einmal in 10 Jahren bei der Projektierung einzusetzen ist.

Auf der Grundlage dieser eingehenden Vorprüfungen wurde folgender Rahmen für die „Empfehlungen für Eislastannahmen aus meteorologischer Sicht“ festgelegt:

Schaffung von Kriterien zur

1. Einteilung der Trassen in Abschnitte
 - mit einheitlicher großklimatischer Ablagerungsgefährdung
 - mit einheitlicher lokaler Nebelfrostgefährdung

2. Schaffung von Unterlagen zur Bestimmung der maximalen (1 mal in 10 Jahren) Nebelfrostablagerungsmasse in 2,5 m über Grund in kg/m Standardstab für die nach regionalen und lokalen Gesichtspunkten klassifizierten Trassenabschnitte.
(Unterlagen gemäß Pkt. 3.2. des Abschlußberichtes)
3. Schaffung von Unterlagen zur Umrechnung der Meßwert-Kennziffern der Stabmethode (24-Stunden-Meßzyklus) in Werte, die für mehrtägige Ablagerungszyklen charakteristisch sind, bei denen maximale Ablagerungsmassen auftreten.
(Unterlagen gemäß Pkt. 3.3. des Abschlußberichtes)
4. Schaffung von Unterlagen zur Umrechnung der für die Standortkategorie und für natürliche Ablagerungszyklen gültigen Meßwert-Kennziffern der Standardmethode in kg pro m Standardstab in Belastungsangaben, die für die konkrete Expositionshöhe über Grund gültig sind.
(Unterlagen gemäß Pkt. 3.4. des Abschlußberichtes)
5. Schaffung von Unterlagen zur Umrechnung der Belastungsangaben, die sich aus 4. ergeben, für horizontale Leiterseile der Durchmesser 15,7 und 21,7 mm. Dabei werden die Angaben für den Fall vorwiegend senkrecht zur Anblasrichtung des Windes orientierter Leiterseile gemacht.
(Unterlagen gemäß Pkt. 3.5. und 3.6. des Abschlußberichtes)

Dieser methodische Rahmen wurde am Beispiel der 380-kV-Doppelleitung Röhrsdorf (DDR) / Výskov (ČSSR) überprüft, für die eine Gutschtenanforderung des VEB Verbundnetz Elektroenergie Berlin vorlag. Das Ergebnis dieser praktischen Anwendung (Gutachten vom 13.4.1973 Anlage VIII) wurde vor Abgabe des Gutachtens auf der Beratung der Arbeitsgruppe Nebelfrostablagerungen erörtert und die konzipierte Form der

"Empfehlungen für Eislastannahmen aus meteorologischer Sicht" für den Abschlußbericht als geeignet für die Anwendung in der Projektierungspraxis und als günstiger Ausgangspunkt für spätere Standardisierungsbearbeitungen bestätigt.

Die in dieser Unterlage nicht verwerteten Kenntnisse, die in den vorangegangenen Kapiteln dargelegt wurden, sind als wissenschaftlicher Vorlauf im Sinne eines Ergebnis-Fundus zu werten, dessen Inanspruchnahme im Zusammenhang mit der weiteren Entwicklung der Berechnungsmethoden und Berechnungsvorschriften erfolgen wird.

Seitens verschiedener Dienststellen der Energieversorgung wird der Bedarf nach "Eislastkarten" immer wieder herausgestellt.

Vom Prinzip her ist es möglich, derartige Eiskarten zu erarbeiten. Der Aufwand für ein derartiges Vorhaben steht jedoch in keinem Verhältnis zum Nutzen.

Die Herstellung von Trassenbewertungen wird als der angemessene Weg, bei dem Aufwand und Nutzen in einem günstigen Verhältnis stehen, angesehen.

- 4.2. Vorschlag für eine "Empfehlung für Eislastannahmen
aus meteorologischer Sicht"

Meteorologischer Dienst der DDR Potsdam, den 17. Juli 1973
Hauptamt für Klimatologie
Abt. Technische Meteorologie

Empfehlung für Eislastannahmen aus meteorologischer Sicht

1. Anwendungshinweis

Die vorliegenden Unterlagen gestatten für Zwecke des Freileitungsbaues die Bestimmung der an Leiterseilen auftretenden Nebelfrostablagerungsmassen im Gebiet der DDR.

Die Primärdaten für die Analyse der regionalen Verteilung der Ablagerungsmassen basieren auf den 10jährigen Messungen mit der Standard-Stab-Methode des Meteorologischen Dienstes der DDR. Aus ihnen sind die Maximalwerte für einen 10jährigen Bezugszeitraum abgeleitet.

Die Primärdaten für die Analyse der Abhängigkeit der Ablagerungsmassen mit zunehmender Höhe über Grund beruhen vorerst nur auf Meßergebnissen einer Ablagerungsperiode bis 25 m Höhe über Grund. Sie tragen vorläufigen Charakter.

Für Leiterseildurchmesser von 15,7 und 21,7 mm wurden experimentell Umrechnungsfaktoren aus den Ablagerungswerten nach der Stabmethode ermittelt.

Die Ablagerungen, die hier behandelt werden, beziehen sich auf einen "bodennahen" Höhenbereich, der maximal bis 80 m über Grund reicht.

Absolut extreme Ablagerungen, die den Charakter von Naturkatastrophen haben, die sehr selten und in räumlich eng begrenzter Ausdehnung auftreten, sind durch die vorliegenden Unterlagen nicht erfaßt.

2. Ermittlung der Nebelfrostablagerungen

Die Nebelfrostablagerungen, die einmal in 10 Jahren auftreten, werden nach folgender Beziehung ermittelt

$$E = P \cdot l \cdot h_L \cdot f_d$$

P = maximale Ablagerungsmasse in 24 Stunden nach der Stabmethode (Basiswert) entsprechend der regionalen und lokalen Nebelfrostgefährdung des Trassenabschnittes

l = "Verlängerungsfaktor" zur Umrechnung der maximalen Ablagerungsmasse in 24 Stunden am Stab in Meßwertkennziffern, die für mehrtägige Ablagerungszyklen charakteristisch sind

h_L = Korrekturfaktor zur Umrechnung der für 2,5 m über Grund ermittelten Belastungen auf die konkrete Expositionshöhe der Leiterseile

f_d = Faktor zur Umrechnung der für den Standardstab ermittelten Belastung in Belastungsangaben für horizontal orientierte Leiterseile konkreter Abmessungen

Die Festlegung des Basiswertes und der Faktoren geschieht in nacheinanderfolgenden Arbeitsschritten.

1. Schritt: Klassifizierung der Freileitungstrasse unter dem Gesichtspunkt ihrer Nebelfrostgefährdung

Bei der Einteilung einer Freileitungstrasse in Abschnitte mit ähnlichen Ablagerungsbedingungen sind sowohl der regionale, als auch der lokale Aspekt zu beachten.

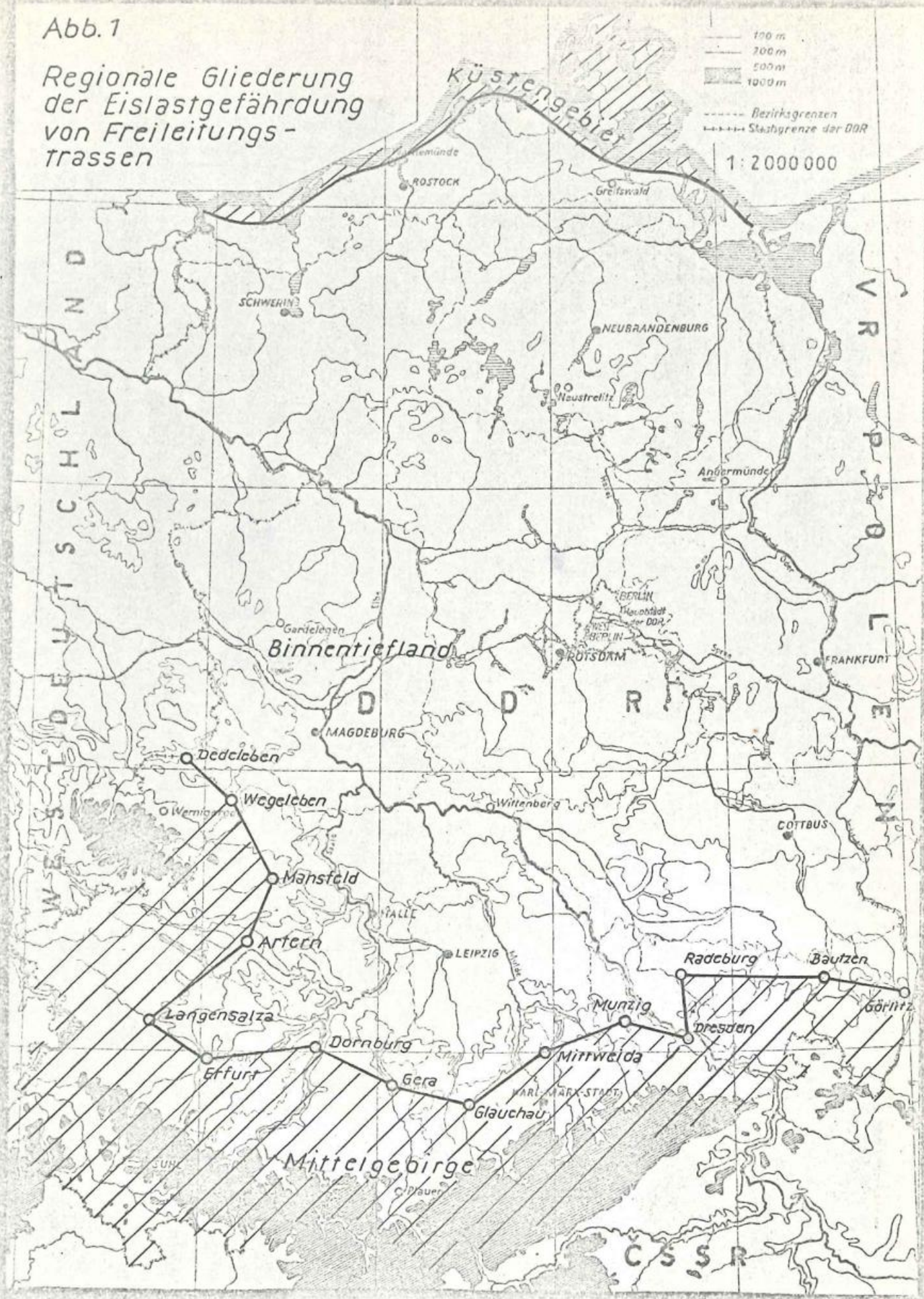
Abb. 1

Regionale Gliederung
der Eislastgefährdung
von Freileitungs-
Trassen

100 m
200 m
500 m
1000 m

----- Bezirksgrenzen
- - - - - Staatsgrenze der DDR

1: 2 000 000



Die regionale Gliederung des Territoriums unterscheidet - wie in Abb. 1 dargestellt - 3 Gebiete:

- Küstengebiet
- Binnentiefland
- Mittelgebirge

Bei der Einordnung von Standorten in den Regionalbereich "Küstengebiet" ist zu beachten, daß dafür nur freie Küstenbereiche mit etwa einer Breite von ca. 5 km Küstenentfernung in Betracht kommen. Bodden und Hafnküsten bleiben unberücksichtigt.

In den Mittelgebirgen nehmen die Ablagerungen in Abhängigkeit von der Seehöhe zu.

Charakterisierung der lokalen Standorteigenschaften

Ein Standort kann relativ zur Umgebung stark, normal oder schwach nebelfrostgefährdet sein. Der Grad der Gefährdung hängt in erster Linie von der Windexposition des Standortes ab.

Lokale Unterschiede in der Nebelgefährdung, z.B. im Bereich von "Kaltluftseen", sind für diese Fragestellung irrelevant. Erhöhte Nebelbildung in der Nähe von Kühltürmen bzw. im Einflußbereich warmes Wasser führender Kanäle bedarf jedoch spezieller Untersuchungen.

In den Mittelgebirgen sind die Begriffe stark, normal bzw. schwach nebelfrostgefährdet immer nur zur Abgrenzung der Unterschiede innerhalb eines Höhenbereiches zu verwenden. Die Standorteinordnung in die lokalen Gefährdungskategorien erfolgt nach allgemein topographischen Gesichtspunkten und nach den Besonderheiten des Pflanzenwuchses bzw. nahegelegener Bebauung, soweit sie auf die Ablagerungsbedingungen Einfluß nehmen. Für eine grobe Einschätzung der Windschutzwirkung großer Hindernisse gilt, daß sie sich auf einen Bereich erstreckt, dessen Radius etwa der 10fachen Höhe des Hindernisses beträgt.

nisses entspricht.

Stark nebelfrostgefährdete (relativ zur Umgebung windexponierte) Standorte sind:

- freie Kuppen
- Hochlagen
- Hangkanten
- Täler mit möglicher Düsenwirkung des Windes

Normal nebelfrostgefährdete (mit relativ zur Umgebung normaler Windlage) Standorte sind:

- obere Bereiche der Hänge nicht ausgesprochen enger Täler
- Talerweiterungen außerhalb des Windschutzes der Hangflächen und möglicher Düsenwirkung
- gering windexponierte Hochflächen
- der größte Teil des Binnentieflandes

Schwach nebelfrostgefährdete (relativ zur Umgebung windgeschützte) Standorte sind:

- enge oder stark gewundene Täler
- Standorte, an denen das gefährdete Objekt sich während der Überwiegenden Zeit im direkten Windschutz befindet

Bei Trassenführungen in Schneisen (bei einer Schneisenbreite bis zu 2facher Hindernishöhe) gilt als Ausgangspunkt für die Höhenfestlegung zur Ermittlung des Korrekturfaktors die mittlere Bestandsoberfläche.

Außerhalb des Bestandes kann gegenüber dem Schneisenraum eine andere lokale Gefährdungskategorie gültig sein.

Es wird empfohlen, daß in stark gegliedertem Gelände die Standortklassifizierung entweder gemeinsam mit Spezialisten des Meteorologischen Dienstes der DDR erfolgt, bzw. daß ent-

sprechende Bonitierungshinweise von den zuständigen Ämtern für Meteorologie eingeholt werden.

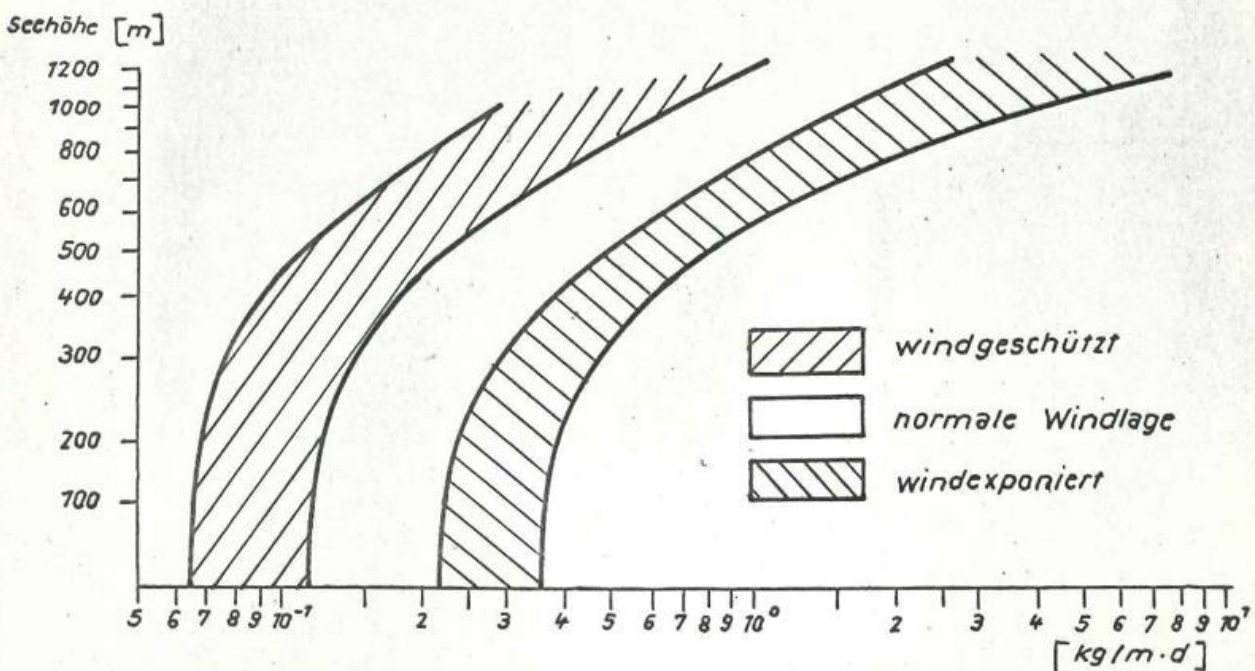
Dabei ist es ratsam, die Bonitierung der Trasse durch Standortbegehung vorzunehmen und die Ergebnisse der Einordnung für Mittelgebirgsstandorte kartographisch im Maßstab maximal 1 : 25 000 und minimal 1 : 200 000 zu fixieren.

Für Tieflandverhältnisse ist Kartenmaterial von 1 : 500 000 im allgemeinen ausreichend.

2. Schritt: Bestimmung der maximalen 24stündigen, einmal in 10 Jahren in 2,5 m über Grund auftretenden Nebelfrostablagerungsmasse P (Angaben in kg/m Standardstab)

Die Festlegung des Basiswertes P erfolgt aus Abb. 2 entsprechend der vorgenommenen Klassifizierung der Trassenabschnitte.

Abb. 2: Maximale Nebelfrostablagerungsmasse P



3. Schritt: Bestimmung des "Verlängerungsfaktors" l

Im Binnentiefland stellen sich bei intensiven Nebelfrostablagerungen die Höchstwerte im allgemeinen innerhalb von 24 Stunden ein. Die mit der Stabmethode gewonnenen Meßergebnisse bedürfen daher keiner Korrektur.

In den Mittelgebirgs- und Kammlagen halten intensive Nebelfrostablagerungszyklen länger an. Obwohl solche Ablagerungszyklen in den oberen Lagen bis zu mehreren Wochen andauern können, kommt es dabei zeitweilig auch zu Rückbildungen und Abfällen, so daß sich Ablagerungsmassen, die mehr als das 3fache des maximalen 24stündigen Meßwertes ausmachen, im allgemeinen nicht ausbilden.

Im Küstengebiet können in seltenen Fällen Ablagerungszyklen von mehr als 24 Stunden Dauer auftreten.

Für Trassenabschnitte im Küstengebiet und im Mittelgebirge sind deshalb "Verlängerungsfaktoren" der maximalen 24stündigen Meßwerte erforderlich.

Der "Verlängerungsfaktor" l wird entsprechend dem Regionalbereich und der Seehöhenlage des Trassenabschnittes nach Tabelle 1 festgelegt.

Tabelle 1: "Verlängerungsfaktor" l

Standortkategorie	l
Küstengebiet	1,5
Binnentiefland bis 300 m über NN	1,0
300 bis 500 m über NN	1,2
500 bis 700 m über NN	1,3
700 bis 900 m über NN	1,5
900 bis 1100 m über NN	2,0
1100 bis 1200 m über NN	3,0

4. Schritt: Bestimmung des Korrekturfaktors h_L

Die Nebelfrostablagerungsmasse nimmt mit der Höhe über Grund zu. Die Höhenzunahme ist abhängig von der Nebelfrostgefährdung eines Standortes.

Die Festlegung des Korrekturfaktors h_L zur Umrechnung der für die Standortkategorie in 2,5 m über Grund ermittelten maximalen Belastung auf die konkrete Expositionshöhe der Leiterseile erfolgt nach Tabelle 2.

Wegen der geringen Anzahl der bisherigen Messungen haben diese Angaben vorläufigen Charakter. Sie bedürfen der Bestätigung durch weitere Untersuchungen.

Tabelle 2: Korrekturfaktor h_L

Nebelfrostgefährdung	Höhe über Grund [m]									
	2,5	10	15	20	25	30	40	50	60	
stark	1	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,9	3,1	3,3	
normal	1	1,5	1,7	1,8	2,0	2,1	2,4	2,6	2,7	
Schwach	1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,7	1,8	

5. Schritt: Bestimmung des Korrekturfaktors f_d

Die durch die Schritte 1 bis 4 ermittelte Nebelfrostbelastung gilt für den vertikalen Stab. Zur Umrechnung dieser Belastungsangaben für horizontal orientierte Leiterseile konkreter Abmessung ist der Korrekturfaktor f_d erforderlich. Er wird in Abhängigkeit von der ermittelten Ablagerungsmasse nach Tabelle 3 festgelegt.

Tabelle 3: Korrekturfaktor f_d

Seildurchmesser [mm]	Ablagerungsmasse [kg/m]			
	1,0	2,0	3,0	$\geq 5,0$
21,7	1,0	0,90	0,84	0,78
15,7	0,94	0,83	0,76	0,70

6. Schritt:

Eine Zusammenfassung der Endergebnisse zu Trassen-Abschnittgruppen ist als letzter Schritt durch den Projektanten unter Beachtung der technischen Gesichtspunkte, insbesondere der "technischen Relevanz" der dargestellten Belastungsunterschiede, vorzunehmen.

5. Empfehlungen für weitere Forschungsarbeiten

Wenn die Frage nach weiteren Forschungsarbeiten im Zusammenhang mit Projektierungs-Unterlagen zur Berücksichtigung der Belastungen von Freileitungen durch Nebelfrost- und Glätteisablagerungen gestellt wird, ist es erforderlich

- den Bedarf und die Bedarfsentwicklung für diese Unterlagen zu analysieren
- und die Frage zu beantworten
- ob die bereits vorhandenen Kenntnisse auf diesem Gebiet schon voll ausgeschöpft werden.

Der gegenwärtige Bedarf dürfte im Hinblick auf die auch in den nächsten Jahren noch geübte Praxis der Verwendung traditioneller Berechnungsverfahren durch die Forschungsergebnisse, die in diesem Bericht zusammengestellt sind, prinzipiell gedeckt werden.

Die Weiterführung der Messungen des Nebelfrost-Vertikal-Gradienten an der Meßanlage auf dem Kleinen Fichtelberg und die Fortführung der Netzmessungen mit der Standard-Stab-Methode wird in diesem Zusammenhang als Voraussetzung für die weitere Aufstockung der Primärdaten und die Präzisierung der Kenntnisse über die Nebelfrostzunahme mit wachsender Höhe über Grund angesehen.

Die Bedarfsentwicklung wird in zwei Richtungen erfolgen: Einerseits wird die Einführung probabilistischer und semi-probabilistischer Berechnungsverfahren die Beschreibung der Nebelfrostablagerungen mit häufigkeitsstatistischen Methoden erfordern, zum anderen werden die Fragen nach den Ablagerungsmöglichkeiten unter realen Betriebsbedingungen in den Vordergrund treten.

Unter realen Betriebsbedingungen werden dabei sowohl eigen-erwärmte Leiterseiloberflächen als auch mechanisch kurz-

bzw. langperiodisch schwingende Seile verstanden. Beim letzten Fragenkomplex wird der Schwerpunkt der Fragestellungen dabei weniger auf zulässige Grenzlaster durch Ablagerungsbehang, als vielmehr auf die wechselseitige Bedingtheit von Eis und Seiltänzen gerichtet sein. In jedem Fall ist seitens der Technik eine konzeptionelle modellhafte Klärung der technischen Fragestellungen beizubringen, damit die seitens der Meteorologie vorzusehenden Untersuchungen konsequent zielbezogen geplant werden können.

Diese Forderung ist besonders wichtig für Untersuchungen an Freileitungs-Systemen, bei denen die Wechselwirkungen zwischen Tragwerken und Seilen komplex berücksichtigt werden müssen und bei denen simplifizierte Versuchseinrichtungen (Phantome), deren Realisierung trotzdem aufwendig ist, zu unzureichenden oder falschen Schlußfolgerungen führen.

Seitens der Meteorologie wurde in den vergangenen Jahren dafür gesorgt, daß die Auswertungen der Primärdaten so gestaltet wurden, daß Häufigkeitsaussagen über die Belastungen in verhältnismäßig kurzer Zeit und ohne zusätzliche Messungen erbracht werden können.

Durch die enge Zusammenarbeit mit den Hydrometeorologischen Diensten und Meteorologischen Diensten der sozialistischen Länder auf dem Gebiet der Nebelfrost- und Glatteisablagerungen wurde gesichert, daß durch eine Standardisierung der Meßmethoden bzw. durch Einführung von Vergleichsmethoden die Übernahme der Ergebnisse der in den anderen sozialistischen Ländern durchgeführten Untersuchungen möglich ist. Auf dem Gebiet der kombinierten Wind-Eislasten sollte mit der UdSSR die arbeitsteilige Erforschung der Grundlagen dafür eingeleitet werden und auf dem Gebiet der Haftfestigkeit der Ablagerungen an verschiedenen technischen Oberflächen müßte mit der CSSR kooperiert werden.

In beiden Ländern (in der UdSSR bei WNIIEE und in der ČSSR bei EGU) wurden umfangreiche technische Versuchsanlagen aufgebaut.

Besondere Aufmerksamkeit muß der Anwendung der Ablagerungstheorie, die in den letzten Jahren im Bereich der Deutschen Post vorangetrieben wurde, geschenkt werden.

Die Haupthindernisse für eine breite Einführung der theoretischen Erkenntnisse in die Praxis sind das Fehlen von wolkenphysikalischen Grundwerten über die Struktur des Nebels.

Die Schließung dieser Kenntnislücken erfordert ebenfalls internationale Kooperation mit Partnern in der UdSSR, der UVR und der VR Polen.

6. Literaturverzeichnis

- /1/ Aßmann, R.
Vom Brocken
Das Wetter 2(1885) S. 25 - 32
- /2/ Aßmann, R.
Mikroskopische Beobachtungen der Reif-, Rauhreif- und
Schneestruktur
Met. Ztschr. 6(1889) S. 339
- /3/ Bürklin, A.
Die Beanspruchung der Freileitungen durch Eisbehang
ETZ 70(1949) H.17, S. 481 - 486
- /4/ Bučinskij, V.E.
Atlas obledenění provodov
Gidrometeorologičeskoe izdatel'stvo
Leningrad 1966
- /5/ Caspar, W., Sandreczki, A.
Eisablagerungen aus meteorologischer Sicht
ETZ-B 16(1964) H.26, S 763 - 767
- /6/ Chimač, M. A.
Otloženie l'da iz pereochlaždennyh oblakov
i tumanov
Trudy GGO 57(119), 1956, S. 44 -49
- /7/ Diem, M.
Höchstlasten der Nebelfrostablagerungen an Hochspannungs-
leitungen im Gebirge
Arch. für Met., Geophysik und Bioklimatologie, Serie B,
Bd. VII (1956)
- /8/ Dranevič, E. P.
Gololed i izmoroz', Gidrometeorologičeskoe izdatel'stvo
Leningrad 1971
- /9/ Drozdov, O. A., Rudneva, A. V.
K voprosu ob izmenenii intensivnosti otloženiya
gololeda na provodach s vysotoj
Trudy GGO 57(119), 1956, S. 80 - 87

- /10/ Flemming, G.
Nebelfrostwindrosen von Mittelgebirgsgipfeln
Ztschr. für Met. Bd. 17, H.5/6, S 183 - 186
- /11/ Gäbler, H.
Definition und Klassifizierung der Nebelfrostablagerungen
Techn. Mitt. d.RFZ 7(1963), H. 3
- /12/ Gaster, R. und Krone, H.
Die ingenieurtheoretischen Probleme bei der Erfassung
und Auswertung der vertikalen Änderung der meteorolo-
gischen Einflußgröße Nebelfrost für technische Zwecke
Ing.-Arbeit an der Ingenieurschule für Geodäsie und
Kartographie, Dresden 1970
- /13/ Grunow, J.
Kritische Nebelfroststudien nach Beobachtungen auf dem
Hohenpeißenberg
Arch. für Met., Geophysik und Bioklimatologie, Bd. IV,
(1953) H. 4, S. 389 -419
- /14/ Hradička, Boh.
Zum Problem der Messung der Nebelfrostablagerungen
Ztschr. für angew. Met. 51(1934) H. 6, S. 174 - 178
- /15/ Hradička, Boh.
Zur Nebelfrostfrage
Gerlands Beiträge zur Geophysik Bd. 51 (1937), S. 335 - 342
- /16/ Kačurin, L. G.
Образование гололеда и изморози в переохлажденном
тумане
Труды ГГО 57(119), 1956, S. 50 - 55
- /17/ Klinov, F. Ja.
O postanovke nabljudenij za gololedno-
izmorozevymi otložženijami v nižnem 300-metrovom sloe atmosfery, Trudy GGO (1970), S. 9 - 23
- /18/ Klinov, F. Ja.
K postanovke meteorologičeskich nabljudenij v nižnem 500-
metrovom sloe atmosfery na Ostankinskoj vysotnoj televizion-
noj bašne v Moskve, Inform. pis'mo, Nr. 16, UGMO GUGMS, 1966

- /19/ Klinov, F. Ja.
K issledovanijam gololedno-izmorozevych otlozenij
v niznem 300-metrovom sloe atmosfery
Trudy GGO 200(1966), S. 33 - 44
- /20/ Klinov, F. Ja., Andreev, V. D., Stefanov, N. G.
Ob izmerenijach gololedno-izmorozevych otlozenij
v niznem sloe atmosfery
Trudy GGO (1970), S. 61 - 64
- /21/ Kolbig, J.
Meteorologische Grundlagen für die Formulierung von
Eis- und Windlastannahmen für das Bauwesen
Vortrag, Kolloquium On Building Climatology CIB/WMO-
Stockholm 1972 (Manuskript)
- /22/ Kolbig, J.
Zur Häufigkeit und Intensität von Nebelfrostablagerungen
im Bereich der DDR
Tagung Hydrometeorologie, 1968,
Druck der Vortragsmanuskripte
- /23/ Kolbig, J.
Die Nebelfrostablagerungen als technisch wichtige
meteorologische Einflußgröße
Techn. Mitt. d. RFZ 7(1963) H.3, S. 145 - 151
- /24/ Kolbig, J.
Klimatische Beanspruchungen technischer Geräte beim
Einsatz in der Antarktis
Die Technik 17(1962) H. 8, S. 591 - 597
- /25/ Kolbig, J. und Beckert, Thea
Untersuchungen der regionalen Unterschiede im Auftreten
von Nebelfrost
Ztschr. für Met. Bd.20(1968) H.1 bis 6, S. 148 - 160
- /26/ Kolbig, J. und Piehl, H.-D.
Die Entwicklung eines Nebelfrostablagerungsschreibers
Abschlußbericht (unveröffentlicht)

- /27/ Kolbig, J.
Nebelfrostablagerungen an technischen Profilen
Abhandlungen des Meteorologischen Dienstes der DDR,
Nr. 107 (im Druck)
- /28/ Konček, M.
Zur Frage der Nebelfrostablagerungen im Gebirge
Studia geoph. et geod. 4(1960) S. 69 - 84
- /29/ Konček, M.
Messungen der Nebelfrostablagerungen auf der
Lomnitzer Spitze
Acta Geophys. Polon. (1953) H.1, S. 21 - 31
- /30/ Kreutz, W.
Ein Beitrag zum Nebelfroststudium
Ztschr. für angew. Met. 58(1941) H.5, S.137 - 150
- /31/ Orlicz, M.
Messungen der Nebelfrostablagerungen auf verschiedenen
Leitern auf dem Kasprowy Wierch in der polnischen Tatra
Vortrag II. Internat. Nebelfrostsymposium, Oberwiesenthal,
1971, Zusammenfassung s. Anlage
- /32/ Popolanský, F.
Nebelfrostbildung auf verschiedenen Materialien
Forschungsinstitut für Energetik, Brno, ČSSR, Vortrag
II. Internationales Nebelfrostsymposium, Oberwiesenthal,
1971, Zusammenfassung s. Anlage
- /33/ Prestin, H.
Nebelfrostablagerungen auf europäischen Bergen
Diss. Philos. Fakultät, Friedr.-Wilh.-Univ., Berlin, 1935
- /34/ Quervain, M.de
Zur Frage der atmosphärischen Vereisung
Bull. schweiz. elektrotechn. Ver. Bd. 45(1954) Nr. 14,
S. 578, 591 - 594
- /35/ Rink, J.
Die Schmelzwassermengen der Nebelfrostablagerungen
Reichsamt für Wetterdienst, Wissenschaftl. Abhandlung
Bd. V(1938) Nr. 7, 27 Seiten

- /36/ Rudneva, A. V.
K voprosu ob ispol'zovanii dannykh nabljudenij na
gololednykh stankach dlja rasčeta nagruzok na linijach
svjazi i elektroperedatč
Trudy GGO 75(1957), S. 32 - 39
- /37/ Rudneva, A. V.
Intensivnost' obledeneniya provodov, podvesennykh na
različnoj vysote nad poverchnost'ju zemli v central'noj
časti evropejskoj territorii SSSR
Trudy GGO 57(119), 1956, S. 56 - 79
- /38/ Rudneva, A. V.
Povtorjaemost' i intensivnost' gololedno- izmorozevykh
javlenij na territorii SSSR
Trudy GGO 75(1957), S. 3 - 31
- /39/ Staiger, F.
Belastungsannahmen für Antennenträger im Falle Vereisung
Der Stahlbau XXX(1961) H.1, S. 24 - 27
- /40/ Stanev, Sv.
Nebelfrostablagerungen an Freileitungen unter
Gebirgsbedingungen
Ztschr. f. Met. Bd.20(1968), H.1 - 6, S. 161 - 164
- /41/ Stanev, Sv.
V'rchu režimā na zakrežavaneto na v'zrušen provodnik
na Černi V'rch (Vitoša)
Izvestija na Instituta no Gidrologija i Meteorologija,
Tom UP (1966), S. 67 - 87
- /42/ Waibel, K.
Die meteorologischen Bedingungen für Nebelfrost-
ablagerungen an Hochspannungsleitungen im Gebirge
Arch., Met. Geoph. Bickl. B. Bd.7, H.1, S. 74 - 83
- /43/ Zobel, G.
Zur Beschreibung, Ermittlung und Bekämpfung der Nebel-
frost- und Glatteisablagerungen und ihre Bedeutung für
den Entwurf, die Konstruktion und Nutzung funktechni-
scher Bauwerke
Dissertation an der Bauakademie der DDR, Berlin 1973

7.

Verzeichnis der dem VEB Verbundnetz Elektroenergie
Berlin, Netzbetrieb Süd, übergebenen Teilberichte

- Die regionalen Unterschiede der Häufigkeit und Intensität von Nebelfrostablagerungen in der DDR (nach Ergebnissen der Stabmethode) vom 20.1.1967
- Die regionalen Unterschiede der Häufigkeit und Intensität von Nebelfrostablagerungen in der DDR vom 17.11.1969
- Ausführlicher Zwischenbericht zum Thema Vertikalgradient Nebelfrost vom Januar 1972
- Vergleichsmessungen der Nebelfrostablagerungsmassen am Standardstab und an Leiterseilen auf dem Brocken vom Juli 1972

