

Über Winterklima und Abfluß an der Küste und im Binnenland Nord-Norwegens

Reinhard H. G. Mook

Vervarslinga for Nord-Norge Tromsø

Die für den winterlichen Abfluß bedeutsamen meteorologischen Variablen nehmen von der Küste zum Binnenland recht verschiedene Werte an. Im folgenden sollen Klima und Abfluß für Januar und Februar an Hand einiger Beispiele aus dem Norden Norwegens verglichen werden. Anliegen dieses Artikels ist es, auf *regionale Unterschiede winterlicher Tauperioden* hinzuweisen.

Klimatische Verhältnisse

Um die mittleren Temperatur- und Niederschlagsbedingungen vom äußeren Rande des nordnorwegischen Inselgürtels bis ins Binnenland zu kennzeichnen, sind die Meßwerte folgender Stationen verwendet worden:

Station	°N	°E	Höhe m ü.M.
Bø i Vesteralen	68° 37'	14° 27'	7
Hadseløy	68° 34'	14° 40'	60
Kleiva i Sortland	68° 39'	15° 17'	23
Sandsøy i Senja	68° 57'	16° 40'	17
Setermoen	68° 52'	18° 21'	100
Bardufoss	69° 04'	18° 31'	76
Dividalen	68° 47'	19° 44'	226
Siççajavrre	68° 45'	23° 33'	382

Aus Tabelle 1 ergibt sich der auch im Monatsmittel große Temperaturgradient zwischen Küste und Binnenland. Da Bardufoss in einem inversionsbegünstigten Kessel gelegen ist, während Dividalen zeitweise in den Bereich der relativ warmen Hangzone zu liegen kommt, unterscheidet sich die Temperatur an beiden Orten nur geringfügig.

Wenn es auch in diesem Zusammenhang nicht relevant erscheint, so sei doch darauf hingewiesen, daß die namentlich im Februar höheren Mitteltemperaturen der Periode 1921—1950 im Vergleich zu den Perioden 1901—1930 und 1931—1960 einen Abschnitt veränderter allgemeiner Zirkulation andeuten.

Die Täler des Binnenlandes [Dividalen] und die östlich davon gelegenen Gebirgsebenen [Siççajavrre] sind, wie Tabelle 2 zeigt, arm an Winterniederschlag. Wie die Temperatur nimmt auch der Niederschlag von Januar bis Februar ab, was mit zunehmender Stabilität antizyklonaler Verhältnisse zusammenhängt (Mook 1962). Bei geringerem Niederschlag übertrifft die Schneehöhe an den Binnenlandstationen diejenige der Inselstationen, an denen sogar Tage ohne geschlossene Schneedecke vorkommen.

Tabelle 2

Normalwerte des Niederschlages [N] in mm, Schneetiefe [S] in cm und Anzahl Tage [D] mit Schneedecke. 1901—1930 (Det Norske Met. Inst. 1949).

	N		S		D	
	Jan.	Feb.	Jan.	Feb.	Jan.	Feb.
Hadseløy	98	78	15	16	20	22
Sandsøy	75	52	11	20	22	23
Setermoen	67	51	44	61	30	28
Dividalen	17	15	31	41	31	28
Siççajavrre	13	11	30	36	31	28

Einen Hinweis auf das Verhältnis fester und flüssiger Phasen des Niederschlages gibt Tabelle 3. Fällt in Siççajavrre fast ausschließlich Schnee, so

Tabelle 1

Normaltemperaturen in °C während dreier Perioden (Bruun 1962)

	1931—1960		1921—1950		1901—1930	
	Januar	Februar	Januar	Februar	Januar	Februar
Bø i V.	— 1.0	— 1.5	— 0.6	— 1.0	— 0.9	— 1.6
Sandsøy	— 1.3	— 1.8	— 1.0	— 1.4	— 1.2	— 2.0
Bardufoss	— 8.8	— 9.0	— 8.4	— 8.4	— 8.3	— 8.7
Dividalen	— 8.8	— 9.0	— 8.5	— 8.5	— 8.6	— 9.0
Siççajavrre	—14.0	—14.3	—13.6	—14.4	—13.9	—14.9

macht dieser auf Sandsøy im Januar weniger als ein Viertel der gesamten Niederschlagsmenge aus. Der Anteil wächst jedoch im Februar, während gleichzeitig Temperatur und Gesamtniederschlagsmenge abnehmen, das heißt die Kontinentalität verstärkt wird.

Tabelle 3

Niederschlag in mm, flüssiger Anteil in % 1950—1958

	Sandsøy		Dividalen		Siççajavrre	
	Jan.	Feb.	Jan.	Feb.	Jan.	Feb.
mm	57	28	25	17	27	25
%	77	43	31	21	0	1

Dividalen unterscheidet sich von Siççajavrre durch höhere Temperatur und das Auftreten von flüssigem Niederschlag; die Niederschlagsmenge aber ist eher geringer. Zwar ist Dividalen aufgrund seiner westlichen Lage Advektion feuchter Warmluft mehr ausgesetzt, andererseits dürften in dem etwa 1000 m tief eingeschnittenen U-Tal orographische Effekte wie dynamische Erwärmung und Niederschlagsschatten wirksam werden. Im Inselbereich hingegen dominiert die zyklonale Zufuhr wasserdampfreicher Luftmassen, wobei zunehmende Maritimität verminderte Akkumulation bedeutet. So betrug der Niederschlag im Januar 1956 auf Sandsøy 108 mm; davon fielen nur 1.7 mm als Schnee. Für die Schneeschmelze sind folgende Variablen von Bedeutung (Mook 1965): Häufiger Regen erodiert und vermindert das Retentionsvermögen des Schnees. Die Schmelzreife wird beschleunigt, indem das spezifische Gewicht sich dem kritischen Wert von 0.4 (Geiger 1961) nähert. Die Wärmezufuhr durch Regenwasser ist, wie eine Überschlagsrechnung zeigt, relativ unbedeutend. Energetisch wichtig ist jedoch der Feuchtigkeitsübergang zwischen Luft und Schneedecke, wie Light (1941) und Müller (1953) rechnerisch nachwiesen und von Mook in der angeführten Arbeit empirisch bestätigt wurde. Der Austausch sensibler und latenter Wärme zwischen Luft und Schnee ist proportional der Differenz zwischen Äquivalenttemperatur der Schneeoberfläche und der Luft (Müller). Diese Differenz nimmt mit der Maritimität zu. Die Wärmeübergangszahl, der Proportionalitätsfaktor, wächst mit der Konvektion, das heißt mit der Windgeschwindigkeit und Turbulenz. Wegen der häufigen antizyklonalen Lage im Binnenland ist dort die mittlere Windgeschwindigkeit geringer als an der Küste. Nach Johannessen (1960) beträgt im Januar und Februar die Windgeschwindigkeit im zehnjährigen Mittel auf Sandsøy 6.6 m sec.⁻¹, in Dividalen [geschützte Tallage] 2.3 und in Siççajavrre 3.5 m sec.⁻¹.

Die Globalstrahlung im Januar ist der Breitenlage

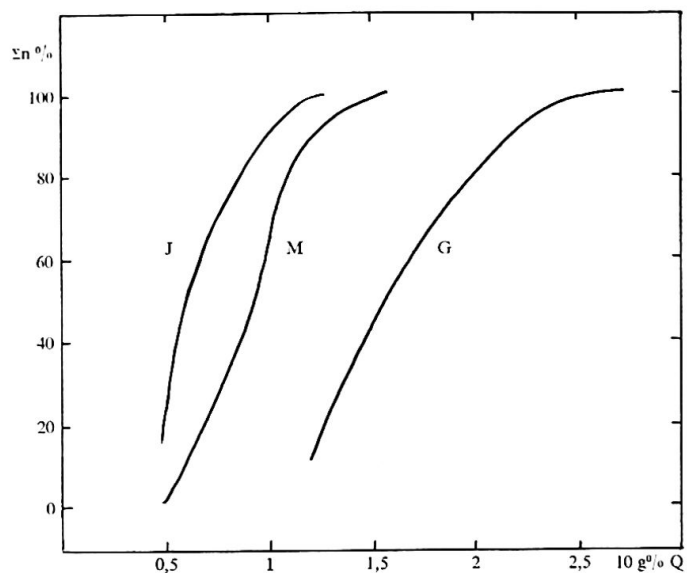


Abb. 1 Prozentuelle Häufigkeitsverteilung [Summenkurve] n täglicher Abflußstärke in Prozent durchschnittlicher Abflußstärke Q für Gaslandsvatnet, Malangsfoss und Jotkajavrre. Januar und Februar 1953—1962.

wegen unbedeutend und auch im Februar geringer. Johannessen (1956) gibt für 68° N Tagessummen von 40 kcal m⁻² am 19. Januar und 430 kcal m⁻² am 13. Februar an. Bewölkung reduziert diese Beträge in der Küstenzone im Vergleich zu dem auch höher gelegenen Binnenland. Andererseits ist besonders im Binnenland wegen seltenerer Schmelzperioden mit größerer Albedo zu rechnen. Hinsichtlich der langwelligen Strahlung darf man in der feuchteren Atmosphäre der Küstenzone eine stärkere zur Erde gerichtete Gegenstrahlung erwarten als in der kalten und trockenen Binnenlandluft. Andererseits ist die nach oben gerichtete Ausstrahlung der Schneedecke im Binnenland wegen der tiefen Oberflächentemperatur geringer als an der Küste. Der Nettoverlust an Wärme durch langwellige Ausstrahlung wird daher keine großen regionalen Unterschiede zeigen. Diese Überlegung wird durch Tabellenwerte bei Johannessen (1956) bestätigt: Im Mittel für Januar und Februar wird die Wärmeausstrahlung veranschlagt auf [Einheiten kcal m⁻² h⁻¹] 40.8 in Bø i Vesteralen, 40.2 auf Sandsøy, 55.6 in Dividalen und 50.7 in Siççajavrre. Diese Ausführungen zeigen, daß die klimatischen Bedingungen für eine Erhaltung der Schneedecke im Binnenland wesentlich günstiger als in der mehr maritimen Zone sind. Vor allem Temperatur und Feuchtigkeit sind hier für die regionalen Unterschiede verantwortlich. Um dies hinsichtlich der Äquivalenttemperatur noch deutlicher zu zeigen, sind für die Jahre 1958—1963, Januar und Februar, in drei Stationen alle Tage ausgezählt worden, an denen die Äquivalenttemperatur T* einer schmelzenden Schneedecke [T* = 9.3°C] von der

Äquivalenttemperatur der Luft zu wenigstens einem Beobachtungstermin überschritten wurde.

Tabelle 4 belegt, daß die Persistenz solcher Tage — Serien, welche über die Intervallgrenzen 1. Januar und 28. [29.] Februar hinausreichen, aber ihren Schwerpunkt innerhalb des Zeitintervalls besitzen, sind mitgezählt — von der Küste zum Binnenland stark abnimmt. Sowohl Kleiva wie Dividalen weisen 25 laufende Serien am ersten Tage auf. Eine nähere Untersuchung zeigt, daß Reihen, die in Kleiva datumsmäßig zusammenhängen, in Dividalen häufig in mehrere kürzere Reihen aufgespalten erscheinen. Die kritische Äquivalenttemperatur wird hier also nicht mehr an allen Tagen wie in Kleiva erreicht.

denen dynamisch-orographisch erwärmte trockene Luft [Föhn] Dividalen erreicht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß Kleiva, das den Inselgürtel repräsentieren mag, verhältnismäßig lange Serien von Tagen mit Äquivalenttemperaturen wesentlich über der kritischen aufweist. Die Feuchtigkeit ist groß, Regen häufig, die Schneedecke hat geringeres Retentionsvermögen. Es ist daher zu erwarten, daß den Flüssen auch im Winter Schmelz- und Regenwasser zugeführt wird. Die Wahrscheinlichkeit von Taufluten ist größer im Januar als Februar, ebenfalls größer im Früh- als im Spätwinter.

Dividalen mag für die inneren Täler sprechen. Verglichen mit Kleiva und im Hinblick auf die Lage

Tabelle 4

Persistenz von Tagen mit Äquivalenttemperatur der Luft über derjenigen einer schmelzenden Schneedecke (9.3°C) Januar und Februar 1958—1963

Tage	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...	21	22	23
Kleiva i. S.	25	21	17	11	8	7	4	4	4	4	2	...	2	2	0
Dividalen	25	15	9	5	3	2	2	0							
Siççajavrre	8	4	0												

Tabelle 5 zeigt, wie häufig Tage mit Äquivalenttemperatur über 9.3°C von Regen, der ja die Schmelzreife des Schnees erheblich fördert, begleitet werden.

Tabelle 5

Anzahl der Tage mit Äquivalenttemperatur über 9.3°C , % der Tage mit Regen. Januar und Februar 1958—1963.

	Kleiva	Dividalen	Siççajavrre
Alle Tage	117	57	12
% mit Regen	91	56	25

Die Äquivalenttemperaturen $T^* > 9.3^{\circ}\text{C}$ an den drei Stationen sind in Tabelle 6 den beobachteten Lufttemperaturen T zugeordnet. Wie zu erwarten, liegen in Siççajavrre die Äquivalenttemperaturen nur wenig über dem kritischen Wert, der zudem selten erreicht wird. Dies spiegelt die geographische Temperatur- und auch Feuchtigkeitsverteilung wider. Kleiva hat die häufigsten und auch dem Betrag nach hohen Äquivalenttemperaturen $T^* > 9.3^{\circ}\text{C}$. Einen Sonderfall stellt jedoch das Temperaturintervall $6.0\text{—}7.9^{\circ}\text{C}$ und darüber dar. Dividalen ist hier im Vergleich zu Kleiva stärker vertreten. Bei etwas höherer Gruppenmitteltemperatur in Dividalen liegt die mittlere Äquivalenttemperatur wesentlich unter der von Kleiva. Es sind dies Fälle, in

von Dividalen im Binnenlande ist die Lufttemperatur zuweilen hoch; die Äquivalenttemperatur jedoch ist niedriger als in Kleiva, die Luft also trockener. Aus der für Dividalen tieferen Mitteltemperatur (Tabelle 1) ist überdies auf große Temperaturschwankungen zu schließen. Die Reihen von Tagen mit Äquivalenttemperaturen über dem Grenzwert sind kürzer als in Kleiva. Die Förderung der winterlichen Schneeschmelze bleibt bescheiden. Hinzu kommt der selten flüssige Niederschlag und ein höher zu veranschlagendes Retentionsvermögen des Schnees. In den Gebirgslagen

Tabelle 6

Äquivalenttemperaturen $T^* > 9.3^{\circ}\text{C}$ nach Klassen von Lufttemperatur $T^{\circ}\text{C}$, n Fälle. Januar und Februar 1958—1963.

	$T \geq$	0,0-1,9	2,0-3,9	4,0-5,9	6,0-7,9	8,0-9,9
Kleiva i. S.	T	1.3	3.0	4.6	6.2	
	T^*	10.6	12.8	15.9	19.5	
	n	21	45	47	4	
Dividalen	T	1.2	2.8	4.7	6.6	8,0
	T^*	10.0	11.1	14.0	15.5	17,1
	n	7	20	18	11	1
Siççajavrre	T	1.4	3.2	4.0		
	T^*	10.3	12.7	13.0		
	n	8	3	1		

um die Talstation dürfte die Wahrscheinlichkeit für Schneeschmelze noch geringer sein. Nur bescheidene Schmelzwassermengen sind im Abfluß zu erwarten.

Siççajavrre ist typisch für die innere Gebirgsebene, Finnmarksvidda. Nur selten überschreitet die Äquivalenttemperatur hier den kritischen Wert ein wenig. Flüssiger Niederschlag kommt im Januar und Februar kaum vor. Außerdem bedingen anhaltende Perioden sehr tiefer Temperatur einen geringen Wärme- und Feuchtigkeitsinhalt des Schnees. Die Flüsse werden hier im Winter wohl ausschließlich von Seen und von Grundwasser gespeist.

Im folgenden Abschnitt sollen diese verschiedenen Abflußregimes veranschaulicht werden.

Verhalten des winterlichen Abflusses

Um die Veränderlichkeit des winterlichen Abflusses an der Küste und im Binnenland zu vergleichen, wurden folgende Meßstellen ausgewählt: 1. Gaslandsvatn [68° 40' N, 14° 38' E] im Fluß Ringstadelsen, 8.4 km² Niederschlagsgebiet, kennzeichnend für den Inselbereich. 2. Malangsfoss [69° 03' N, 17° 53' E] im Fluß Malselven, 3140 km² Niederschlagsgebiet, typisch für die Gebirgszone. 3. Jotkajavrre [69° 46' N, 24° 06' E] in Jotkajokka, 100 km² Niederschlagsfeld. Dieses Gewässer liegt am Rande von Finnmarksvidda, aus deren Innerem keine Beobachtungen verfügbar waren.

Bearbeitet wurden tägliche Abflußmengen der Monate Januar und Februar in der Dekade 1953—1962. Die drei Flüsse haben verschiedene Morphologie und Abflußstärke. Um einigermaßen vergleichen zu können, wurden alle Abflußmengen als Relativwerte der durchschnittlichen Tagesabflußmenge Q ausgedrückt: Q ist nach Norges Vassdrags — og El: vesen (1958) in m³ dies⁻¹ für Gaslandsvatn 3.28×10^4 , für Malangsfoss 7.35×10^6 und für Jotkajokka 6.67×10^4 .

Das Spektrum von beobachteten Tagesabflußstärken in Prozent der untersuchten Tage [592] ist als Summenkurve in Prozent von Q in Abbildung 1 mit semilogarithmischer Darstellung wiedergegeben. Für das maritim gelegene Gaslandsvatn ergibt sich ein breites Spektrum von Abflußstärken [Volumen/Zeit], bis zu 600 Prozent des Durchschnittswertes Q . Malangsfoss hat ein engeres Spektrum, und die relative Abflußstärke ist geringer als für Gaslandsvatn. Das kontinentale Jotkajavrre weist ein noch ausgeprägteres relatives Häufigkeitsmaximum mit kleiner relativer Abflußstärke auf.

Wird ein Fluß aus einem für Aufnahme geschlossenen Wasservorrat gespeist, so ergibt sich, je nach zeitlicher Entnahme des Wassers, ein für diesen Fluß kennzeichnendes Spektrum von Abflußstärken, welches von einem maximalen Anfangswert

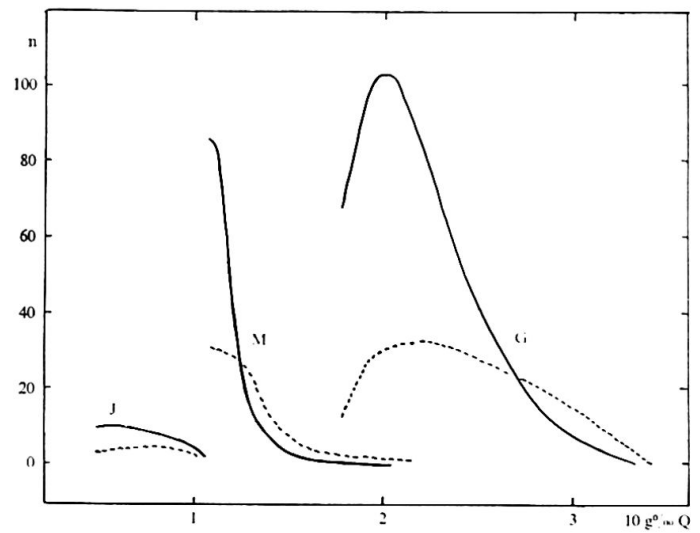


Abb. 2 Häufigkeitsverteilung der Anzahl n positiver [punktiert] und negativer [ausgezogen] interdiurner Änderungen der Abflußstärke in Promille der durchschnittlichen Abflußstärke Q für Gaslandsvatnet, Malangsfoss und Jotkajavrre. Januar und Februar 1953—1962.

gegen Null hin verläuft. Ein Vergleich dieses Spektrums mit den beobachteten Verhältnissen ergäbe den Zuschuß an Oberflächenwasser und Wiederauffüllung des Grundwasservorrates. Da aber eine entsprechende Zerlegung des Abflusses in Komponenten namentlich für Gaslandsvatnet nicht eindeutig möglich ist, wurde von einem solchen Vergleich abgesehen.

Statt dessen sind positive interdiurne Änderungen als Indikatoren für Zuschuß zum speisenden Wasservorrat verwendet worden. Fehlt solcher Zuschuß, so ergeben die zeitlich folgenden Abflußstärken eine nach unten monotone Folge negativer interdiurner Änderungen mit dem Grenzwert Null bei Abfluß Null.

Abbildung 2 zeigt in semilogarithmischer Darstellung die Häufigkeitsverteilung der Anzahl Fälle [n] mit positiver und negativer interdiurner Variation [Null ist also ausgelassen] als Funktion ihrer Größe, ausgedrückt in Promille der durchschnittlichen Tagesabflußmenge Q . Das Ergebnis spiegelt auch das Regulierungsvermögen der Flüsse wider: ein ausgeprägtes Häufigkeitsmaximum kleinerer negativer interdiurner Änderungen. In dem kleinen, von häufigen Taufluten bestimmten Gaslandsvatn sind die geringsten negativen Änderungen nicht auch die häufigsten. Dies aber ist der Fall für Malangsfoss und Jotkajavrre, wobei die letztgenannte Station entsprechend den klimatischen Verhältnissen ein schmales und ausgeglichenes Spektrum kleiner Werte hat. Die positive interdiurne Änderung, die im vorliegenden Zusammenhang interessiert,

ist für Gaslandsvatn durch ein weites Spektrum verhältnismäßig kräftiger Stromstärkeänderungen ausgezeichnet. Für Malangsfoss erstreckt sich das Häufigkeitsmaximum über ein engeres Intervall mit bescheideneren Änderungen, während für Jotkajavrre das Intervall sehr klein ist und die Änderungen geringfügig sind.

Die Häufigkeit der Änderungen vom Betrage Null ist am größten für Jotkajavrre, am geringsten für Gaslandsvatn. Änderung Null bedeutet, logisch betrachtet, einen Wasserzuschuß, der den Verbrauch gerade deckt. Es liegt jedoch nahe anzunehmen, daß vergleichsweise geringe Variationen der Abflußstärke unter die Auswertegenauigkeit der Limnigramme fallen und, bei fortgesetzten Änderungen gleichen Vorzeichens, in der Summe als Einzeländerung erscheinen.

Die winterlichen Abflußregimes, die für maritime und kontinentale Gebiete postuliert wurden, entsprechen den beobachteten Verhältnissen. In der maritimen Zone ist der Anteil des Winterabflusses an der gesamten Jahressumme verhältnismäßig groß. Da die Niederschlagsfelder hier meist klein sind und die Speichermöglichkeit entsprechend bescheiden bleibt, haben die winterlichen Taufluten größte Bedeutung für den Betrieb von Kraftwerken und die Trinkwasserversorgung, indirekt somit für die Fischindustrie und deren Verarbeitungskapazität. Durch fehlende Südwestadvektion geprägte trockene und strenge Winter — zum Beispiel 1965/66 — haben somit weittragende Konsequenzen. Winterliche Taufluten vermindern aber auch die Akkumulation in diesem niederschlagsreichen Gebiet, so daß das Abflußregime, integriert über Akkumulations- und Ablationsperioden, als klimatisch ausgeglichen angesehen werden kann.

Im kontinentalen Bereich, Finnmarksvidda, kommen winterliche Taufluten praktisch nicht vor. Die Niederschlagsgebiete sind meist von erheblicher Ausdehnung und weisen vielfach große Seenprozentage auf, die einen jahreszeitlichen Ausgleich des Abflusses bewirken. Der winterliche Abfluß in den zwischen diesen beiden Zonen gelegenen Gebirgen nimmt in jeder Hinsicht eine Mittelstellung ein.

Zusammenfassung

An Hand klimatologischer und hydrologischer Daten wird beschrieben, wie der Verlauf des Abflusses im Küstenbereich Nordnorwegens von winterlichen Taufluten bestimmt wird, während im Binnenland die Flüsse im Laufe des Winters hauptsächlich aus Seen und Grundwasser gespeist werden.

Summary

By climatological and hydrological data it is described how at the North Norwegian coast runoff in rivers during winter is controlled by periods of snowmelt and rain, whereas runoff in the inland is maintained mainly by the supply from lakes and groundwater.

Literatur

- Bruun, I. (1962): The air temperature in Norway 1931—1960. Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.
- Det Norske Meteorologiske Institutt (1949): Nedbøren i Norge 1861—1955, Oslo.
- Geiger, R. (1961): Das Klima der bodennahen Luftschicht. Braunschweig.
- Johannessen, T. W. (1956): Varmeutvekslingen i bygninger og klimaet. Oslo.
- Johannessen, T. W. (1960): Monthly frequencies of concurrent wind forces and wind directions in Norway. Det Norske Meteorologiske Institutt, Oslo.
- Light, P. (1941): Analyses of high rates of snowmelting. Americ. Geophys. Union, Transactions 1, pp. 195—205.
- Mook, R. H. G. (1962): Zur Bora an einem nordnorwegischen Fjord. Meteorol. Rundschau, 15 (5), pp. 130—133.
- Mook, R. H. G. (1965): Meteorologische Faktoren im Gelände nahe Tromsø während der Schneeschmelze. Pure and Applied Geophysics, 60 (1), pp. 201—216.
- Müller, H. G. (1953): Zur Wärmebilanz der Schneedecke. Meteorol. Rundschau, 6 (7/8), pp. 140—143.
- Norges Vassdrags-og Elektrisitetsvesen (1958): Hydrologiske undersøkelser i Norge. Oslo.