

Zur Intensität und Variabilität der Vegetationsperiode auf Island

Von Jörg-Friedhelm Venzke*

Zusammenfassung: Klimastatistisches Material von sieben isländischen Tieflandstationen und einer Hochlandstation wurde für den Zeitraum 1960 bis 1984 bezüglich der Dauer, Intensität und Variabilität der Vegetationsperiode analysiert. Dabei wird diese differenziert definiert durch Monate mit mindestens zehn Tagen mit Tagesmitteltemperaturen über $+3^{\circ}\text{C}$, $+5^{\circ}\text{C}$ bzw. $+10^{\circ}\text{C}$. Neben dem deutlichen Gegensatz zwischen dem arktisch und kontinentaler getönten Hochland und den subarktisch-ozeanischen Tiefländern läßt sich auch eine Differenzierung der küstennahen Bereiche aufzeigen: Von Süden über Westen nach Nordwesten wird die Vegetationsperiode nicht nur kürzer, auch die einkommenden Wärmesummen werden geringer. In den geschützten Fjord- und Tallagen des Nordens und Ostens werden dem gegenüber höhere Intensitäten, d. h. bei kürzeren Zeiträumen relativ höhere Wärmesummen erzielt. Dies gilt besonders für das $+10^{\circ}\text{C}$ -Temperaturniveau. Die Variabilitäten der Anzahl der Tage mit Tagesmitteltemperaturen über dem jeweiligen Schwellenwert nehmen mit zunehmendem Schwellenwert ebenfalls zu; die größte Sicherheit wird auf den niedrigen Temperaturniveaus im Süden und Südwesten und auf dem $+10^{\circ}\text{C}$ -Niveau im Norden und Osten erreicht. Mit Ausnahme von Reykjavik kann bei allen Stationen nach einem Minimum der jährlichen Wärmesummen während der Vegetationsperiode in der Mitte der sechziger Jahre und einem Maximum in der Mitte der siebziger Jahre eine erneute Abnahme zu den niedrigsten Werten zu Beginn der achtziger Jahre festgestellt werden.

Summary: Climatic statistical material of seven Icelandic lowland stations and one highland station was analyzed for the period from 1960 until 1984 concerning the duration, the intensity, and variability of the growing season. This is defined by months with at least ten days with daily mean temperatures above $+3^{\circ}\text{C}$, $+5^{\circ}\text{C}$ and $+10^{\circ}\text{C}$, respectively. Beside the distinct difference between the arctic and more continental highland and the subarctic-oceanic lowlands a differentiation of the coastal areas can also be shown: From the south and the west to the north-west the growing season becomes not only shorter, but the incoming heat sums become less, too. Contrary to this relatively greater heat sums are reached within shorter periods in the sheltered settings of the northern and eastern fjords and valleys. This applies especially to the $+10^{\circ}\text{C}$ temperature level. The variability of the number of days with daily mean temperatures above the respective threshold values increases with increasing threshold values; the greatest certainty at the lower temperature levels are reached in the south and south-west and at the $+10^{\circ}\text{C}$ level in the north and east. With the exception of Reykjavik a minimum of the yearly heat sums during the growing season can be stated at all other stations for the middle of the sixties, furtheron a maximum for the middle of the seventies, and again a depression to the lowest minimum at the beginning of the eighties.

1. EINLEITUNG

Bei der Beurteilung von vegetationsökologischen Verhältnissen kommt in allen außertropischen Landschaftszonen der Erde der detaillierten Betrachtung der thermischen Vegetationsperiode große Bedeutung zu. Es ist dabei nicht nur die Dauer, sondern auch die Intensität, d. h. die während des entsprechenden Zeitraumes einkommende Wärmemenge, und die Regelmäßigkeit, mit der diese Werte langfristig erreicht werden, von Interesse. Ist allerdings die Definition der Vegetationsperiode als Zeit der Assimilationstätigkeit der Pflanzen und ihre phänologische Bestimmung verhältnismäßig einfach (vgl. TRETER 1984: 50), so ergeben sich bei der klimastatistischen Erfassung eine Reihe von methodischen Problemen (vgl. zum Problem der thermischen Klimaparameter in der Vegetationsgeographie TUHKANEN 1980). Dies gilt in besonderem Maße für subpolare, boreale und kühlgemäßigte Räume hoher Ozeanität (I, 4-, II, 1- und III, 2-Klimate nach TROLL 1964), wo in der Übergangszeit von Winter zu Sommer und oft auch während der Wintermonate selbst Tage mit Tagesmitteltemperaturen über den jeweiligen, zur klimastatistischen Berechnung definitionsmäßig festgelegten Schwellenwerten auftreten (vgl. Abb. 2). Es erwächst daraus die Schwierigkeit, den Beginn und das Ende der Vegetationsperiode im Jahr aus den Angaben der Klimastatistiken zu definieren. In den kontinentaleren subarktisch-borealen wie in den arktischen Räumen, in denen der Übergang zwischen den Jahreszeiten durch einen rapideren Temperaturanstieg bzw. -abfall gekennzeichnet ist, fällt dieses Problem dagegen kaum ins Gewicht.

Am Beispiel Islands, wo in den küstennahen Tieflandsregionen I, 4- und im zentralen Hochland I, 3-Klimabedingungen herrschen (zur näheren Klimacharakteristik vgl. BYTHÓRSSON & SIGTRYGGSSON 1971 und EINARSSON 1984) und wo demzufolge mit subarktischem Birkenwald und oberhalb der

*Dr. Jörg-Friedhelm Venzke, Institut für Geographie der Universität/GHS, Universitätsstr. 15, 4300 Essen 1.

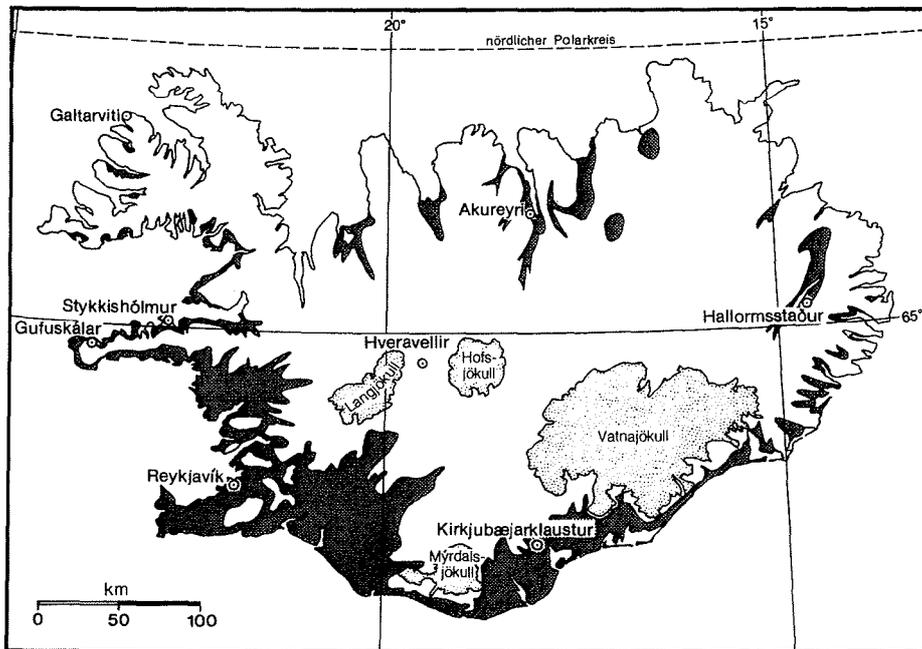


Abb. 1: Island — Lage der in dieser Arbeit berücksichtigten Stationen sowie Gebiete mit Juli-Mitteltemperaturen über 10° C (dunkel gerastert) (aus RAGNARSSON 1977; nahezu deckungsgleich mit den landwirtschaftlich intensiver genutzten Gebieten [„Kulturwiesen“] nach RUTHSATZ & GEYGER 1971).

Fig. 1: Iceland — position of the stations noted in this article and the area of July mean temperatures above 10° C (dark grey) (from RAGNARSSON, 1977; this coincides more or less with the agricultural regions, cf. RUTHSATZ & GEYGER, 1971).

klimatischen Waldgrenze bei ca. 500 m ü. M. (FRÍDRIKSSON 1972) mit subarktischer Zwergstrauchtundra außerhalb edaphisch wüstenhafter Gebiete als potentiell natürlicher Vegetation zu rechnen ist, soll in dieser Arbeit nicht nur auf das o. a. methodische Problem eingegangen werden, sondern vor allem die Intensität der Vegetationsperiode in ihrer Saisonalität, regionalen Differenzierung und zeitlichen Variabilität analysiert werden.

Bislang liegt lediglich eine Karte zur Vegetationsperiode auf Island von RAGNARSSON (1977) vor, in der für 66 Stationen die Länge der Wachstumszeit, definiert als Anzahl der Tage mit Tagesmitteltemperaturen über +7,5° C, für den Zeitraum 1931 bis 1960 angegeben ist. Kalkulationen über die Länge und Intensität der Vegetationsperiode im zentralen Hochland (Bezugsstation: Hveravellir) finden sich darüber hinaus bei VENZKE (1982: 42 ff., 1984: 329/330).*

2. DATENMATERIAL UND METHODEN

Zur Auswertung kamen in dieser Arbeit die Tagesmitteltemperaturen im Zeitraum 1960 bis 1984 für folgende acht Stationen, die in den isländischen Monatswetterheften VEDRÁTTAN veröffentlicht sind (zur Lage der Stationen vgl. Abb. 1):

Reykjavík	52 m ü. M.	1960—1984
Stykkishólmur	16 m ü. M.	1960—1977

*Mit Problemen der Vegetationsperiode auf Island beschäftigen sich u. a. auch BERGTHÓRSSON (1985) und GLAWION (1985). Beide Arbeiten erschienen allerdings erst nach Abschluß dieses Manuskripts.

Gufuskálar	7 m ü. M.	1978—1984
Galtarviti	20 m ü. M.	1966—1984
Akureyri	23 m ü. M.	1960—1984
Hallormsstadur	60 m ü. M.	1961—1984
Kirkjubæjarklaustur	32 m ü. M.	1960—1984
Hveravellir	641 m ü. M.	1966—1984

Die Meßstation von Stykkishólmur wird bei der Veröffentlichung von Tagesmitteltemperaturen seit 1978 durch die Meßstation von Gufuskálar ersetzt. Eine Verquickung beider Meßreihen für den Zeitraum 1960 bis 1984 ist selbstverständlich nicht unproblematisch, erfolgt hier allerdings dennoch, da es vor allem um die Kennzeichnung des westisländischen Raumes allgemein durch beide Stationen geht und sie sich im übrigen in ihren Lagereigenschaften nur unbedeutend voneinander unterscheiden. Weiterhin muß angemerkt werden, daß es sich bei den Stationen Akureyri und Hallormsstadur um Fjord- bzw. Trogtallagen handelt, die eine gewisse Schutzposition, allerdings auch eine Kanalisierung von vom Hochland abfließenden Luftmassen darstellen. Reykjavik, Stykkishólmur/Gufuskálar, Galtarviti und Kirkjubæjarklaustur sind ausgesprochene Küsten- bzw. küstennahe Stationen; Hveravellir die einzige Hochlandsstation.

Aus dem genannten klimastatistischen Material wurde die Anzahl der Tage pro Monat mit Tagesmitteltemperaturen von über $+3^{\circ}\text{C}$, $+5^{\circ}\text{C}$ und $+10^{\circ}\text{C}$ ausgezählt. Diese Schwellenwerte zur Kennzeichnung

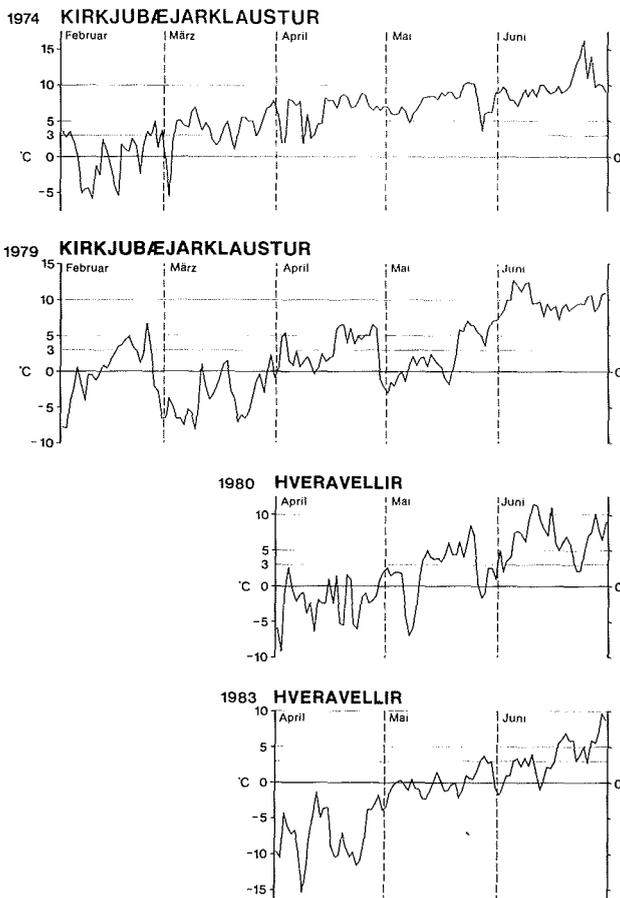


Abb. 2: Tagesmitteltemperaturen in der Übergangszeit von Winter zu Sommer in Kirkjubæjarklaustur und Hveravellir in zwei jeweils ausgewählten Jahren. Dabei war 1974 für Kirkjubæjarklaustur ein recht warmes und 1979 ein besonders kaltes Jahr, für Hveravellir 1980 ein recht warmes und 1983 ein besonders kaltes Jahr (vgl. Abb. 6 f und g). Es fällt dabei das sehr viel häufigere isolierte Vorkommen von Tagen über den entsprechenden Temperaturniveaus an der subarktisch-ozeanischen Station Kirkjubæjarklaustur gegenüber der arktisch-kontinentaler getönten Station Hveravellir auf. Für den Beginn der Vegetationsperiode wird in dieser Arbeit der Monat definiert, in dem mindestens 10 Tage, also ein Drittel der Zeit, über dem jeweiligen Schwellenwert der Tagesmitteltemperatur liegen.

Fig. 2: Daily mean temperatures during the transition period between winter and summer at Kirkjubæjarklaustur and Hveravellir during two selected years. 1974 was for Kirkjubæjarklaustur a relatively warm, 1979 an extremely cold year; for Hveravellir 1980 was relatively warm and 1983 an extremely cold year (ref. Fig. 6 f and g).

der Vegetationsperiode wurden gewählt, um den physiologischen Eigenschaften verschiedener Pflanzen gerecht zu werden, hat doch im Prinzip jeder Ökotyp jeder Pflanzenart sein spezifisches Temperaturniveau, bei dem die verschiedenen Lebensaktivitäten (Assimilation, Samenproduktion und -reife, Keimung etc.) beginnen. So nennt z. B. LIEBRICHT (1985: 30) $+5^{\circ}\text{C}$ Tagesmitteltemperatur als Grenztemperatur für die Kartoffelkeimung und das Grassprießen und als Wärmeindex für die Knollenentwicklung der Kartoffel die Anzahl der Tage mit Bodentemperaturmitteln über $+10^{\circ}\text{C}^*$.

Die mittlere Anzahl der Tage mit Tagesmitteltemperaturen über den genannten Schwellenwerten ist für die Stationen und Monate in Tab. 1 aufgelistet. Es zeigt sich, daß mit Ausnahme der Hochlandsstation Hveravellir in allen Monaten — auch den Wintermonaten — Tage mit Mitteltemperaturen von über $+3^{\circ}\text{C}$ bzw. $+5^{\circ}\text{C}$ auftreten. Diese Tage während des Winters sind allerdings selten und liegen so isoliert in einer Periode mit niedrigeren Tagesmitteltemperaturen, daß sie nicht zur Vegetationsperiode hinzugezählt werden können (vgl. Abb. 2); die winterlichen Lichtverhältnisse und die wahrscheinlich vorhandene Schneedecke lassen an diesen Tagen — wenn überhaupt — nur eine sehr geringe und damit vernachlässigbare Nettophotosyntheseleistung zu. Für die weitere klimastatistische Analyse wurde deshalb die Vegetationsperiode durch mindestens 10 Tage im Mittel des Bearbeitungszeitraumes pro Monat mit Tagesmitteltemperaturen über den jeweiligen Schwellenwerten definiert. In Tab. 1 sind die Monate, die zur Vegetationsperiode der Stationen gerechnet werden, besonders gekennzeichnet.

Weiterhin sind die Standardabweichungen und der PEARSONSche Variationskoeffizient berechnet worden; in Abb. 5 ist die Variabilität der Tage mit Tagesmitteltemperaturen über den bezeichneten Schwellenwerten pro Monat — ausgedrückt durch den Variationskoeffizienten — dargestellt.

Für die Vegetationsperiode auf den jeweiligen Temperaturniveaus wurden anschließend die jährlichen Wärmesummen über $+3^{\circ}\text{C}$, $+5^{\circ}\text{C}$ und $+10^{\circ}\text{C}$ Tagesmitteltemperatur, die Standardabweichungen und die Variationskoeffizienten errechnet, und zwar differenziert nach der Gesamtvegetationsperiode, dem ersten Teil (bis 30. Juni) und dem zweiten Teil (ab 1. Juli) der Vegetationsperiode. Hinzu kam die Kalkulation der 4 Jahre übergreifenden Mittel bei der Gesamtwärmesumme. Die Ergebnisse sind z. T. in den Abb. 6, 7 und 8 und der Tab. 2 wiedergegeben.

Alle Berechnungen erfolgten mit Hilfe eines Personalcomputers und z. T. veränderten Programmen nach POOLE & BORCHERS (1980) und SHARP & SAWDEN (1984).

3. DIE INTENSITÄT DER VEGETATIONSPERIODE AUF ISLAND UND IHRE SAISONALE DIFFERENZIERUNG

Die Anzahl der Tage mit Tagesmitteltemperaturen oberhalb des jeweiligen Schwellenwertes wie auch die während der Vegetationsperiode einkommende Wärmesumme sind für die einzelnen Stationen den Tab. 1 und 2 zu entnehmen. Auf allen Temperaturniveaus und an allen Standorten ist die Vegetationsperiode entsprechend dem Jahresgang der Temperatur sowohl von der Dauer als auch von der Intensität her asymmetrisch im Jahr angeordnet. Sie beginnt im Tiefland im März/April (Schwellenwert $+3^{\circ}\text{C}$) bzw. April/Mai (Schwellenwert $+5^{\circ}\text{C}$) und endet — mit Ausnahme des Nordwestens und Nordens — im Oktober mit i. a. höheren Tageszahlen und Wärmesummen pro Monat recht abrupt. Die einkommende Wärmesumme während der Zeit bis einschließlich Juni ist nicht nur deutlich geringer gegenüber dem Rest

* Es ist grundsätzlich problematisch, ausschließlich Lufttemperaturparameter zur Kennzeichnung der Vegetationsperiode heranzuziehen, sind doch auch andere Klimatelemente wie z. B. das Bodenklima, die Schneebedeckung und die Feuchteversorgung besonders im ersten Drittel der Vegetationsperiode von großem Einfluß. Vor allem das thermische Bodenklimaregime ist für viele pflanzenphysiologische Prozesse, die sich am oder im Boden abspielen, von weitaus größerer Bedeutung als die Lufttemperaturen. LIEBRICHT (1985) gibt für die im Südwesten gelegenen Tieflandstationen Hvanneyri und Sámstadir um 12 bis 28% niedrigere Gesamtwärmesummen (1970 und 1974) in den obersten 10 cm Boden gegenüber der Luft an. Allerdings können die sommerlichen oberflächennahen Temperaturen deutlich, wenn auch oft nur minimal über den Lufttemperaturen liegen (LIEBRICHT 1985, Abb. 3; vgl. auch VENZKE & VENZKE 1984). — Wenn sich in dieser Arbeit dennoch nur auf die Lufttemperaturwerte beschränkt wird, so geschieht dies wegen der sehr viel besseren Verfügbarkeit des Datenmaterials und der längeren Meßdauer sowie aus Gründen der Vergleichbarkeit mit anderen Arbeiten aus anderen Regionen.

	Schwellenwert (°C)	JAN	FEB	MÁR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Summe (Veg. periode)*
Reykjavík	3	7.0	8.6	10.7	17.8	27.6	30.0	31.0	31.0	28.7	24.7	9.2	6.8	201.5
	5	3.0	3.0	4.9	10.0	23.4	29.7	31.0	31.0	25.6	14.1	4.6	3.0	164.8
	10				0.1	2.4	8.4	20.6	18.2	4.8	1.0			38.8
	7.5**													124
Stykkishólmur/ Gufuskálar	3	4.2	5.4	6.8	12.9	24.1	29.8	31.0	31.0	28.5	20.5	8.0	5.4	177.8
	5	2.1	2.0	2.2	5.6	16.4	28.5	31.0	31.0	24.0	11.8	3.9	2.1	142.7
	10					1.0	4.4	15.8	12.1	2.8	0.5			27.9
	7.5**													108/109
Galtarviti	3	5.2	5.7	5.2	10.4	17.7	28.4	31.0	31.0	26.3	16.6	8.4	5.8	161.4
	5	2.4	2.4	2.4	5.2	12.1	23.5	30.3	30.0	19.5	8.6	3.9	3.2	115.4
	10				0.2	0.9	1.1	8.1	10.3	3.6	0.7			10.3
	7.5**													91
Akureyri	3	5.6	6.1	7.0	12.8	22.5	28.9	31.0	31.0	25.8	15.2	7.2	4.8	167.2
	5	2.8	3.3	3.6	8.4	16.3	27.3	30.6	30.0	18.9	8.6	4.0	2.1	123.1
	10		0.1		0.9	4.8	11.7	16.4	14.6	5.3	1.5	0.3	0.1	42.7
	7.5													112
Hallormsstadur	3	6.2	7.0	8.3	13.1	21.2	28.8	31.0	31.0	26.5	17.7	7.4	6.2	169.3
	5	3.6	3.9	4.3	7.7	15.9	26.4	30.7	30.3	19.4	10.1	4.4	2.8	132.8
	10	0.1	0.1		0.6	3.8	10.9	16.3	14.1	4.3	1.7	0.3	0.2	41.3
	7.5**													110
Kirkjubaejarklaustur	3	6.4	7.0	11.1	18.3	27.4	29.8	31.0	31.0	29.3	22.5	9.1	5.8	200.4
	5	1.4	1.4	4.2	10.4	24.0	29.6	31.0	31.0	26.6	14.5	3.8	1.5	167.1
	10				0.1	2.0	10.3	24.4	19.2	4.2	0.2			53.9
	7.5**													123
Hveravellir	3	0.2			0.5	6.9	23.0	29.3	28.3	14.0	2.9	0.4	0.4	94.6
	5					2.1	14.9	24.8	22.3	7.3	1.2			62.0
	10						0.9	3.5	2.7	0.2				

* Umfasst nur die Monate mit mehr als 10 Tagen über dem jeweiligen Schwellenwert, in Tab. kursiv (s. Text)

** Mittlere Anzahl der Tage mit Tagesmitteltemperaturen über 7.5°C nach RAGNARSSON (1977)

Tab. 1: Mittlere Anzahl der Tage mit Tagesmitteltemperaturen über dem jeweiligen Schwellenwert pro Monat und Jahr.

Tab. 1: Mean number of days with daily mean temperatures above the respective threshold value per month and year.

	Schwellenwert (°C)	Wärmesumme (°C)	Standard- abweichung (°C)	Variations koeffizient (%)
Reykjavík	3	1025	121	11.8
	5	649	96	14.7
	10	53	25	47.5
Stykkishólmur/ Gufuskálar	3	847	98	11.5
	5	511	79	15.4
	10	32	18	57.1
Galtarviti	3	710	96	13.6
	5	388	72	18.6
	10	13	7	53.0
Akureyri	3	921	122	13.3
	5	569	99	17.4
	10	100	41	41.0
Hallormsstadur	3	898	108	12.0
	5	571	86	15.1
	10	96	43	44.5
Kirkjubaejarklaustur	3	1048	98	9.3
	5	675	74	10.9
	10	81	28	34.6
Hveravellir	3	343	87	25.5
	5	159	45	28.3

Tab. 2: Wärmesumme während der Vegetationsperiode (definiert durch den jeweiligen Schwellenwert, s. Text), Standardabweichung und Variationskoeffizient.

Tab. 2: Heat sum during the growing season (defined by the respective threshold value, ref. text), standard deviation, and variation coefficient.

der Vegetationsperiode, sie ist auch einer sehr viel größeren Variabilität unterworfen, die z. T. doppelt so hoch sein kann. Dies drückt die besondere Unsicherheit im Wärmegenuß während des Beginns der Wachstumsphase aus, die zu einem verzögerten Blühbeginn und damit letztendlich durch nicht vollständige Samenreifung zu einer gefährdeten Reproduktion führen kann. Ein verfrühter Kälteeinbruch im Herbst kann zwar auch diesen Effekt haben, ist jedoch offensichtlich nicht so wahrscheinlich.

Ein Vergleich mit klimatisch kontinentaler getönten Gebieten als dem isländischen küstennahen Tiefland erbringt interessante Ergebnisse. In Nordschweden, etwa in den Provinzen Västerbotten und Norrbotten (die sich auf etwa gleicher Breitenlage wie Island befinden), liegen die Gebiete gleicher Anzahl von Tagen mit Tagesmitteltemperaturen oberhalb von $+5^{\circ}\text{C}$ wie in den Küstenregionen Südislands (ca. 150 Tage) ebenfalls im (Ostsee-) Küstenbereich, damit jedoch in borealen Nadelwaldgebieten. Die in diesen Gebieten während der Vegetationsperiode einkommende Wärmesumme ist allerdings fast doppelt so hoch (ca. $1000\text{--}1100^{\circ}\text{C}$) (vgl. ODIN, ERIKSSON & PERTTU 1983) wie in den Vergleichsregionen Islands. Andererseits weisen nordschwedische Gebiete mit Wärmesumme von $500\text{--}600^{\circ}\text{C}$ auf dem Temperaturniveau $+5^{\circ}\text{C}$, die darin mit den südisländischen Küstenregionen übereinstimmen, Tagesanzahlen pro Vegetationsperiode von nur 110—120 Tagen auf; dies entspricht in etwa drei Vierteln der isländischen Gebiete. Hier ist wegen der Höhenlage der Fjällbirkenwald (vgl. BLÜTHGEN 1960) die potentiell natürliche Vegetation. Die Ozeanität des subarktischen Islands kommt somit auch durch die gegenüber kontinentalen borealen Regionen gleicher Breitenlage verhältnismäßig lange Vegetationsperiode mit niedrigeren Wärmesummen zum Ausdruck. In Abb. 3 ist die Relation zwischen Vegetationsperiodendauer und einkommender Wärmesumme für die jeweiligen Temperaturniveaus und einzelnen Stationen aufgetragen. Hinzu ist zum Vergleich der Bereich dieser Relation für das boreale Nordschweden nach ODIN, ERIKSSON & PERTTU (1983) eingezeichnet worden. Es zeigt sich, daß die isländischen Stationen Akureyri und Hallormsstadur etwa in diesen Bereich fallen.

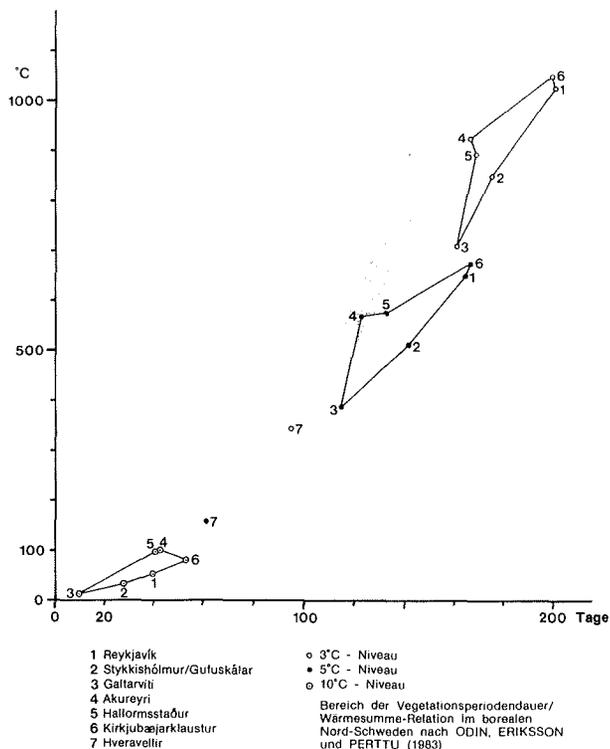


Abb. 3: Relation zwischen Dauer und Wärmesumme der Vegetationsperiode über den jeweiligen Schwellenwerten. Die Stationskennwerte für die Schwellenwerte +3°C, +5°C und +10°C sind unter Ausschluß von Hveravellir miteinander verbunden.

Fig. 3: Relationship between duration and heat sum of the growing season above the respective threshold values. The indices of the stations for the threshold values of +3°C, +5°C, and +10°C are connected with the exception of Hveravellir.

Mit der Höhe des zur Berechnung der Vegetationsperiode zugrunde gelegten Schwellenwertes steigt die Variabilität der Wärmesumme. Die Wärmesumme auf dem Temperaturniveau +3°C erreicht in den Tieflandsstationen ca. 85–90% Sicherheit und auf dem Temperaturniveau +10°C nur ca. 40–60% Sicherheit. Im Hochland liegt die Variabilität der Wärmesumme auf den vergleichbaren Temperaturniveaus etwa um das Doppelte höher.

Die Abb. 5 a-g zeigt die Variabilität, mit der die mittlere Anzahl der Tage oberhalb des jeweiligen Schwellenwertes pro Monat erreicht wird. Dabei ergibt sich, daß mit Ausnahme der Hochlandsstation Hveravellir die Monate Juli und August auf dem Temperaturniveau +3°C eine Variabilität von 0%, d. h. eine 100%ige Sicherheit aufweisen und auch für die anderen Temperaturniveaus, allerdings mit etwas höherer Variabilität, die größte Sicherheit zeigen. Interessanterweise liegen die Variabilitäten für die Vegetationsperiodenmonate bei allen Stationen unter 70%; während der anderen Monate, in denen ja ebenfalls Tage mit Mitteltemperaturen oberhalb der Niveaus +3°C und +5°C auftreten können (s. o., vgl. Abb. 2) —, steigen sie bis auf mehrere hundert Prozent. Somit kann auch eine Variabilität von unter 70% bei der Anzahl der Tage mit Tagesmitteltemperaturen oberhalb der Schwellenwerte pro Monat als Charakteristikum der Vegetationsperiode auf Island gewertet werden.

4. DIE REGIONALE DIFFERENZIERUNG DER INTENSITÄT DER VEGETATIONSSPERIODE AUF ISLAND

Bei der Analyse der Daten zur Dauer und Intensität der Vegetationsperiode auf Island (vgl. Tab. 1 und 2) fällt der deutliche Unterschied zwischen der Hochlandsstation Hveravellir und den küstennahen Tieflandsstationen auf. Auf Hveravellir soll am Ende dieses Abschnittes näher eingegangen werden. Für ei-

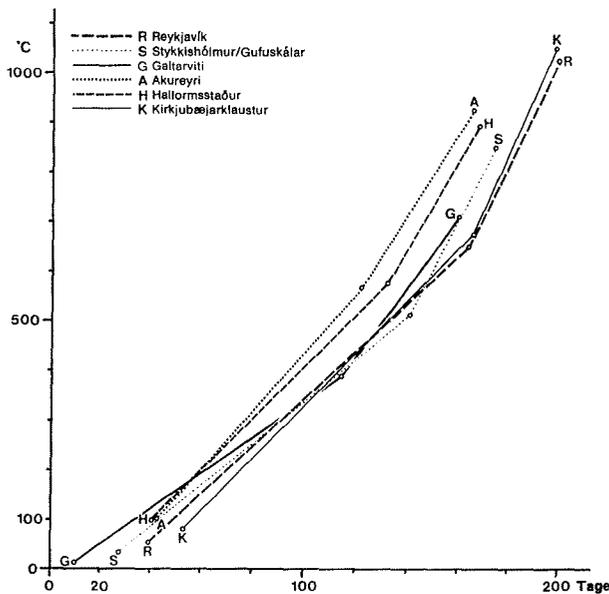


Abb. 4: Relation zwischen Dauer und Wärmesumme der Vegetationsperiode im Vergleich der einzelnen Stationen. Die Schwellenwertskennwerte für die Stationen sind durch Linien miteinander verbunden.

Fig. 4: Relationship between duration and heat sum of the growing season in comparison of the stations. The indices for the respective threshold values are connected for every station.

nen regionalen Vergleich, bei dem die Charakteristika der Vegetationsperiode der küstennahen Tieflandsregionen Islands, für die die einzelnen Stationen als repräsentativ gelten können, zum Ausdruck kommen soll, sind die entsprechenden Daten der Tab. 1 und 2 in ein Diagramm übertragen worden (Abb. 4); die Hochlandsstation Hveravellir wurde nicht aufgenommen.

Die dort dargestellten Linien verbinden in einem Vegetationsperiodendauer/Wärmesummen-Diagramm die jeweiligen Kennwerte für die Schwellenwerte $+10^{\circ}\text{C}$ (linkes unteres Ende der Linie), $+5^{\circ}\text{C}$ (mittlerer Punkt, Knickpunkt der Linie) und $+3^{\circ}\text{C}$ (rechtes oberes Ende der Linie). Obwohl die Linien recht dicht und annähernd parallel verlaufen, lassen sich dennoch einige charakteristische Eigenarten aufzeigen, die als Kennzeichnung der unterschiedlichen Eigenschaften der Vegetationsperiode in den verschiedenen Tieflandsstationen dienen können.

Die Linien für Akureyri und Hallormsstaður verlaufen am steilsten und sind am kürzesten. Die Vegetationsperiode dauert hier auf dem $+3^{\circ}\text{C}$ -Temperaturniveau verhältnismäßig kurz und erzielt auch deutlich geringere Wärmesummen als vor allem die süd- und südöstlichen küstennahen Stationen Kirkjubæjarklaustur und Reykjavik. Die Wärmesummen oberhalb des Schwellenwertes $+10^{\circ}\text{C}$ liegen hingegen in Akureyri und Hallormsstaður am höchsten. Auf den niedrigeren Temperaturniveaus ($+3^{\circ}\text{C}$ und $+5^{\circ}\text{C}$) werden an diesen beiden Stationen aber auch deutlich höhere Wärmesummen als bei den west- und nordwestlichen Stationen Stykkishólmur/Gufuskálar und Galtarviti, wo die Vegetationsperiode auf dem $+3^{\circ}\text{C}$ -Temperaturniveau im übrigen fast gleich lang dauert, erreicht. Reykjavik und Kirkjubæjarklaustur weisen auf den niedrigsten Temperaturniveaus die mit Abstand höchsten Wärmesummenwerte auf. Galtarviti liegt hingegen auf allen Temperaturniveaus am niedrigsten.

Diese so skizzierten Verhältnisse lassen sich grob wie folgt interpretieren. Zwei Typen von Vegetationsperioden stehen sich deutlich gegenüber: Ein „hochozeanischer“ Typ — repräsentiert durch Reykjavik und Kirkjubæjarklaustur —, bei dem auf den niedrigeren Temperaturniveaus die Vegetationsperiode recht lange, hier rund 200 Tage ($+3^{\circ}\text{C}$ -Temperaturniveau), dauert und verhältnismäßig hohe Wärmesummen (über 1000°C auf dem $+3^{\circ}\text{C}$ -Temperaturniveau) erreicht werden; beim etwas „kontinentaleren“ Typ — hier durch Akureyri und Hallormsstaður vertreten — dauert die Vegetationsperiode auf den niedrigen Temperaturniveaus rund 15% weniger lange, und auch die während dieses Zeitraumes einkommenden

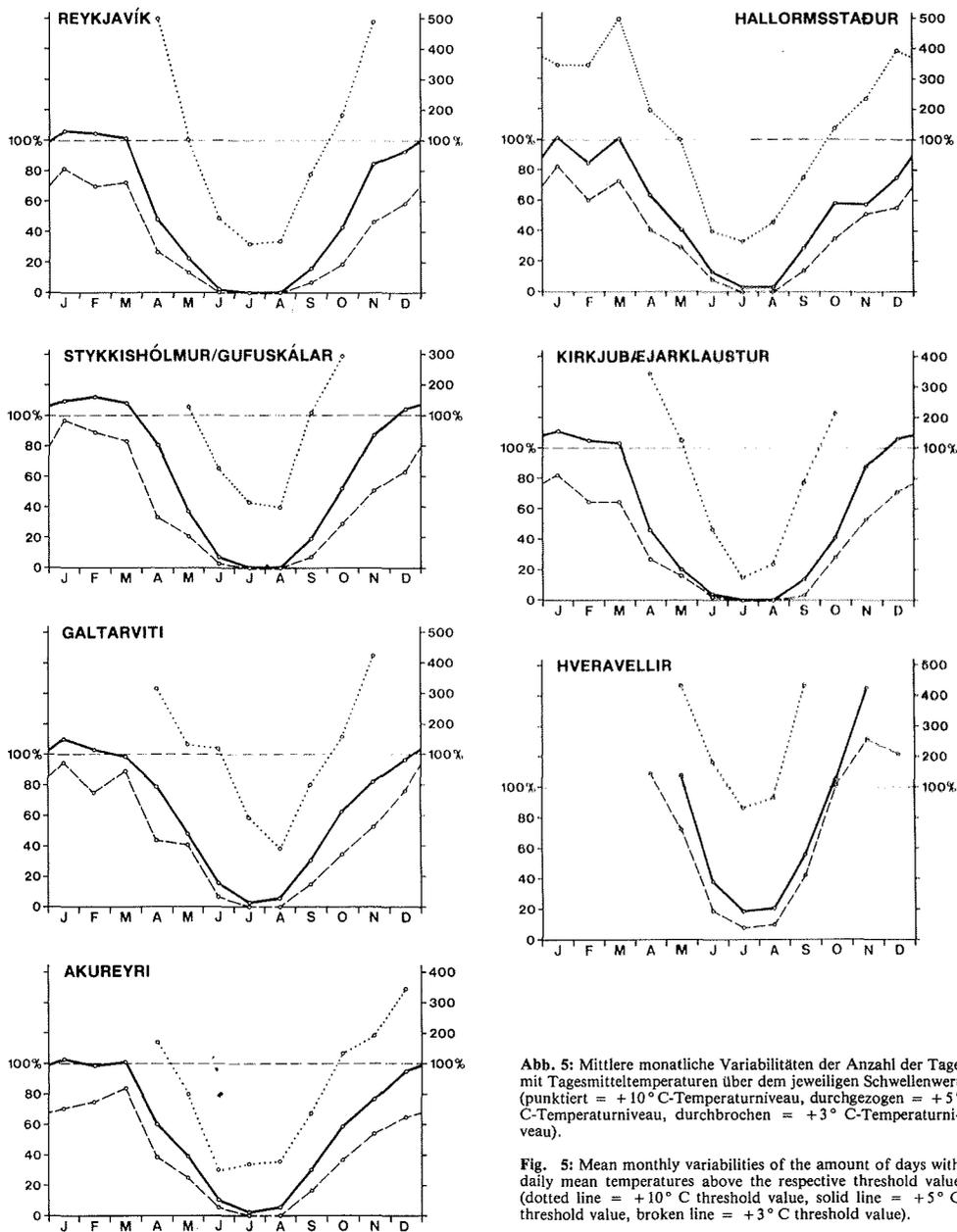


Abb. 5: Mittlere monatliche Variabilitäten der Anzahl der Tage mit Tagesmitteltemperaturen über dem jeweiligen Schwellenwert (punktirt = +10° C-Temperaturniveau, durchgezogen = +5° C-Temperaturniveau, durchbrochen = +3° C-Temperaturniveau).

Fig. 5: Mean monthly variabilities of the amount of days with daily mean temperatures above the respective threshold value (dotted line = +10° C threshold value, solid line = +5° C threshold value, broken line = +3° C threshold value).

Wärmesummen sind rund 10% niedriger. Dafür liegen allerdings die Wärmesummen beim +10° C-Temperaturniveau bei etwa gleich langer Dauer wie an den „hochozeanischen“ Stationen um 20–50% höher. Dabei werden in Akureyri und Hallormsstaður auf den +5° C-Temperaturniveau Werte erreicht, wie sie auch im borealen Nordschweden gleicher Breitenlage typisch sind (vgl. Abb. 3).

Stykkishólmur/Gufuskálar und besonders Galtarviti zeigen in diesem Schema neben ozeanischen Ver-

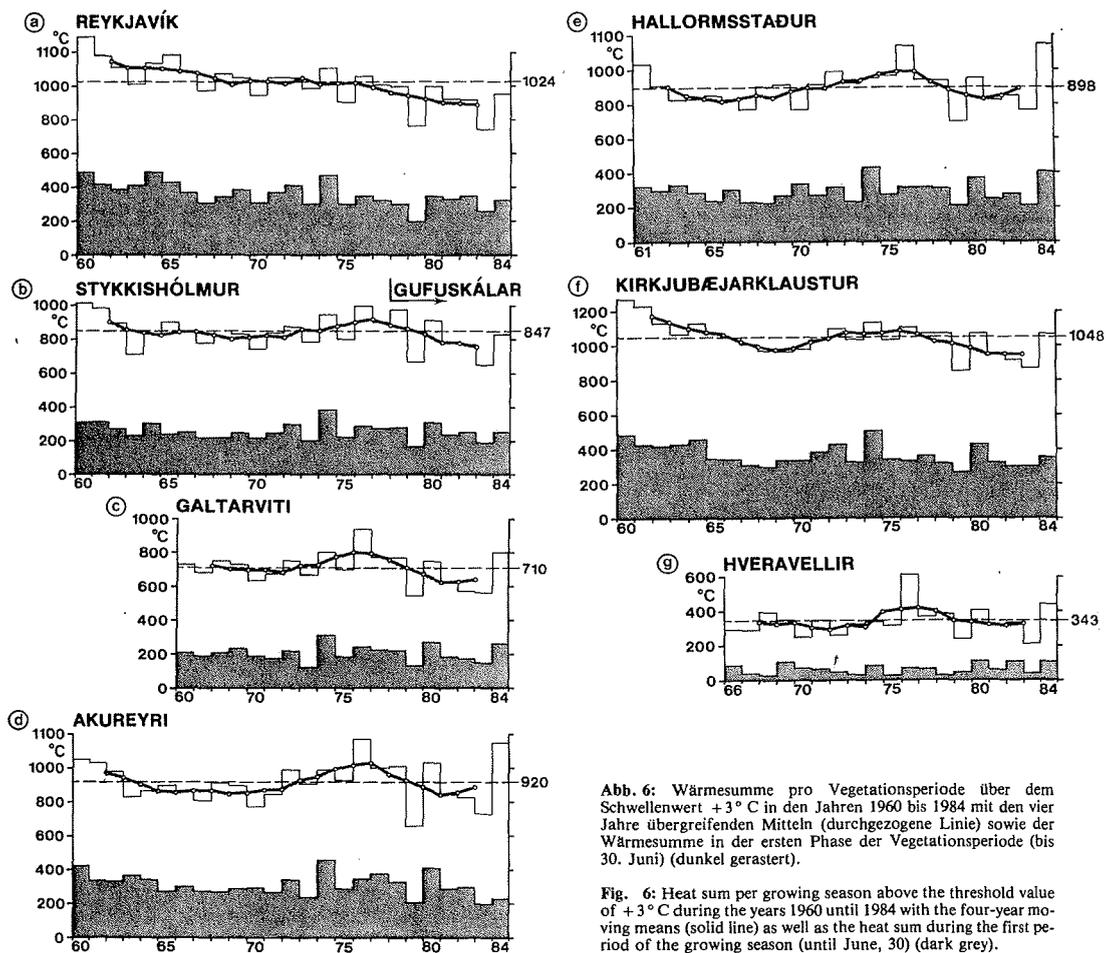


Abb. 6: Wärmesumme pro Vegetationsperiode über dem Schwellenwert $+3^{\circ}\text{C}$ in den Jahren 1960 bis 1984 mit den vier Jahre übergreifenden Mitteln (durchgezogene Linie) sowie der Wärmesumme in der ersten Phase der Vegetationsperiode (bis 30. Juni) (dunkel gerastert).

Fig. 6: Heat sum per growing season above the threshold value of $+3^{\circ}\text{C}$ during the years 1960 until 1984 with the four-year moving means (solid line) as well as the heat sum during the first period of the growing season (until June, 30) (dark grey).

hältnissen auch den Effekt ihrer nördlicheren Lage gegenüber den Stationen des Südwestens und Südens (geringste Wärmesummen auf allem Temperaturniveau). Die hohe Ozeanität von Galtarviti in Bezug auf die Vegetationsperiode wird vor allem durch den verhältnismäßig flachen Verlauf der Kurve zwischen den Kennwerten für das $+10^{\circ}\text{C}$ - und $+5^{\circ}\text{C}$ -Temperaturniveau deutlich.

Der Unterschied zwischen den süd-, west- und nordwestlichen Bereichen einerseits und den Stationen Akureyri und Hallormsstadur andererseits wird im wesentlichen durch zwei Faktoren verursacht. Zum einen beeinflusst der Island im Uhrzeigersinn umfließende Irmingerstrom, ein Nebenarm des Golfstromes, die küstennahen Regionen und verursacht einen ausgeglicheneren Temperaturjahresgang mit verhältnismäßig niedrigen Sommerwärmesummen. Dieser Einfluß schwächt sich von Süden über Westen zur Nordwest-Halbinsel ab, was durch eine Verkürzung und Verlagerung der entsprechenden Graphen im Diagramm nach unten, also Verkürzung der Dauer der Vegetationsperiode und Erniedrigung der in dieser Zeit auf allen Temperaturniveaus einkommenden Wärmesummen; zum Ausdruck kommt. Zum anderen wächst in den inneren Fjordlagen (Akureyri, Hallormsstadur) trotz Reduktion der Dauer der Vegetationsperiode die bioklimatische Gunst, dargestellt durch die viel höheren Wärmesummen bei etwa gleich langer Vegetationsperiode auf dem $+10^{\circ}\text{C}$ -Temperaturniveau. Dies sind im übrigen auch die Bereiche auf Island, wo die Aufforstung mit borealen Coniferen die größten Erfolge verspricht (BJARNASON 1967, 1974).

	Juni		Juli und August		Gesamtvegetationsperiode	
	Ws	Var	Ws	Var	Ws	Var
Kirkjubæjarklaustur	13.9 °C	70.5%	67.5 °C	37.3 °C	81.2 °C	34.6%
Akureyri	23.1 °C	48.6%	76.8 °C	51.2 °C	99.9 °C	40.9%
Hallormsstadur	21.6 °C	53.3%	74.0 °C	56.0 °C	95.6 °C	44.5%

Tab. 3: Wärmesummen (Ws) über dem Schwellenwert + 10 °C und deren Variabilität (Var) an drei ausgewählten Stationen in ihrer saisonalen Differenzierung.

Tab. 3: Heat sums (Ws) above the threshold value + 10 °C and their variability (Var) at three selected stations and their seasonal differentiation.

Die „ozeanischen“ Stationen Süd- und Westlands und die „kontinentaleren“ der nördlichen und östlichen Fjord- bzw. Tallagen unterscheiden sich auch noch in anderen Punkten. Die Variabilität der Wärmesummen (Schwellenwert + 10 °C) ist bei Akureyri (40.9%) und Hallormsstadur (44.5%) deutlich geringer als bei den westlichen Stationen (vgl. Tab. 2). Kirkjubæjarklaustur zeigt auf allen Temperaturniveaus die mit Abstand niedrigsten Variabilitäten der Wärmesumme. Dagegen ist die Variabilität der Dauer der Vegetationsperiode, ausgedrückt durch den Variationskoeffizienten der Anzahl von Tagen über den jeweiligen Schwellenwerten pro Monat (vgl. Abb. 5), besonders auf dem + 5 °C-Temperaturniveau, bei den „ozeanischen“ Stationen bei mehreren Sommermonaten etwas geringer als bei Akureyri und Hallormsstadur. Dies gilt vor allem für Kirkjubæjarklaustur.

Ein weiterer Unterschied erscheint bemerkenswert. Berechnet man die Variationskoeffizienten für die Wärmesummen nicht nur für die gesamte Vegetationsperiode, sondern differenziert sie noch zeitlich, so ergibt sich folgendes. Auf dem Temperaturniveau + 10 °C unterliegt bei den Stationen, die in drei Monaten (Juni, Juli und August) mehr als zehn Tage über diesem Schwellenwert aufweisen, der erste Monat im ozeanischen Bereich einer sehr viel höheren Variabilität der einkommenden Wärmesumme als bei den nördlichen und östlichen Stationen. Dafür allerdings ist der Hochsommer (Juli und August) vom Wärme-

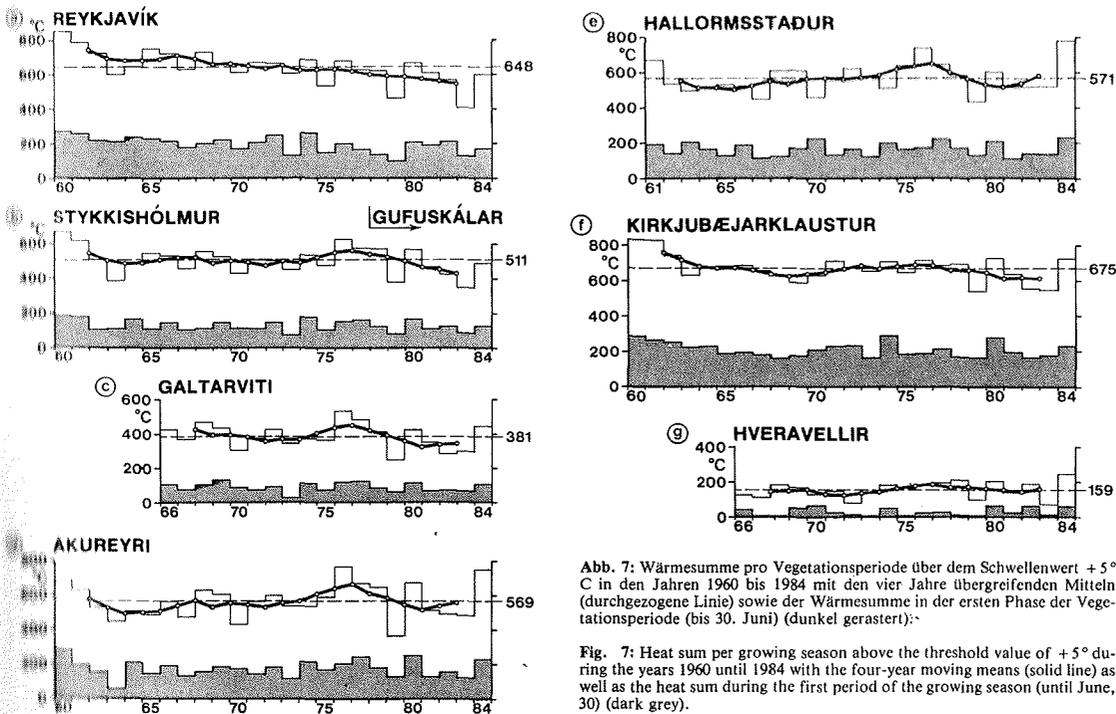


Abb. 7: Wärmesumme pro Vegetationsperiode über dem Schwellenwert + 5 °C in den Jahren 1960 bis 1984 mit den vier Jahre übergreifenden Mitteln (durchgezogene Linie) sowie der Wärmesumme in der ersten Phase der Vegetationsperiode (bis 30. Juni) (dunkel gerastert):

Fig. 7: Heat sum per growing season above the threshold value of + 5 °C during the years 1960 until 1984 with the four-year moving means (solid line) as well as the heat sum during the first period of the growing season (until June, 30) (dark grey).

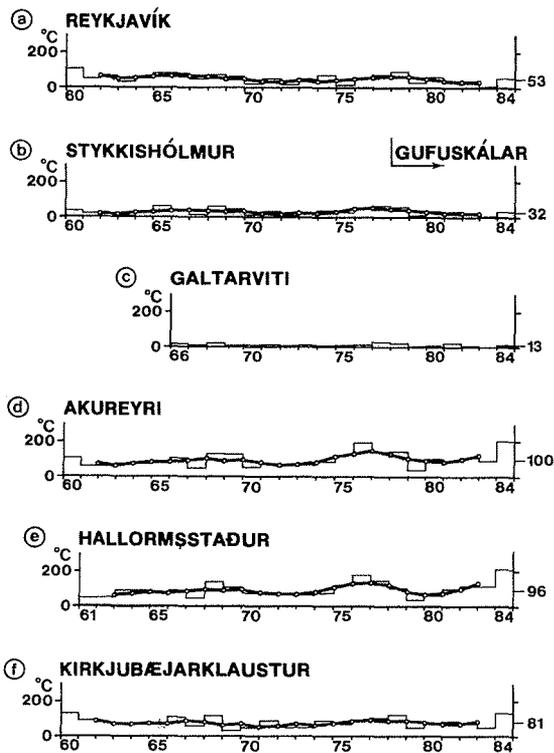


Abb. 8: Wärmesumme pro Vegetationsperiode über dem Schwellenwert $+10^{\circ}\text{C}$ in den Jahren 1960 bis 1984 mit den vier Jahre übergreifenden Mitteln (durchgezogene Linie).

Fig. 8: Heat sum per growing season above the threshold value of $+10^{\circ}\text{C}$ during the years 1960 until 1984 with the four-year moving means (solid line).

genuß her in Kirkjubæjarklaustur so viel sicherer, daß insgesamt dort für die gesamte Vegetationsperiode eine sehr viel geringere Variabilität erreicht wird (vgl. Tab. 3).

Die Hochlandstation Hveravellir weist selbstverständlich gänzlich andere Verhältnisse bezüglich der Dauer, Intensität und Variabilität der Vegetationsperiode auf als die küstennahen Stationen. So ist die Vegetationsperiode nur etwa halb so lang (53% auf $+3^{\circ}\text{C}$ -Temperaturniveau, 44% auf $+5^{\circ}\text{C}$ -Temperaturniveau) und auch die einkommende Wärmesumme nur etwas mehr als halb so hoch (63% auf $+3^{\circ}\text{C}$ -Temperaturniveau, 47% auf $+5^{\circ}\text{C}$ -Temperaturniveau) gegenüber dem jeweiligen Mittel der sechs anderen Stationen. Darüber hinaus ist die Variabilität rund zwei- bis dreimal so hoch (vgl. Tab. 2).

5. ZEITLICHE VARIABILITÄT DER VEGETATIONSPERIODE

Die zeitliche Abfolge der in jedem Jahr erreichten Wärmesumme auf den jeweiligen Temperaturniveaus wie auch die 4 Jahre übergreifenden Mittel sind in den Abb. 6, 7 und 8 dargestellt.

Alle Stationen — mit Ausnahme von Reykjavik — zeigen im Zeitraum 1960 bis 1984 einen Verlauf, der um die Jahre 1975/76 im übergreifenden Mittel ein Maximum und zur Mitte der sechziger Jahre ein erstes Minimum zeigt, das von einem zweiten Minimum zu Beginn der achtziger Jahre z. T. noch unterschritten wird. Das Wärmesummenminimum in der Mitte der sechziger Jahre ist dabei die Folge einer seit den fünfziger und frühen sechziger Jahre festzustellenden Temperaturdepression in der atlantischen Subarktis, über die u. a. SCHUNKE (1979) berichtet hat (vgl. auch SIGFÚSDÓTTIR 1969). Dieser Depressions-trend setzt sich seitdem deutlich nur im Südwesten (Reykjavik) fort; dort fällt die Kurve der übergreifenden Mittel mehr oder weniger kontinuierlich bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes. Der Wiederanstieg der Wärmesummen während der Vegetationsperiode seit Mitte der sechziger Jahre wird bei den nord- und ostisländischen Stationen am deutlichsten. Dies gilt besonders für das $+10^{\circ}\text{C}$ -Temperaturniveau (vgl. Abb. 8). Die extrem kühlen Sommer der Jahre 1979 und 1983 markieren an allen Stationen offensichtlich einen wieder einsetzenden Abkühlungstrend, dessen abwärtsgerichteter Steilheitsgrad bei den 4 Jahre übergreifenden Mitteln größer war als bei dem der sechziger Jahre. Bedingt

durch das warme Jahr 1984 ist dieser Trend allerdings in jüngster Zeit z. T. abgebremst bzw. sogar wieder aufgehoben worden.

Die Kurve der Wärmesummen des ersten Teils der Vegetationsperiode (bis 30. Juni) verläuft i. a. gleichsinnig zur Kurve der Gesamtwärmesumme; dies muß allerdings nicht immer sein (vgl. Abb. 6 und 7). Es fällt auf, daß gerade das „Wärmerekord“-Jahr 1976 durch nicht sonderlich hohe Wärmesummen in der ersten Phase der Vegetationsperiode ausgezeichnet ist; dies gilt für alle Temperaturniveaus.

6. SCHLUSSBEMERKUNG

Für Island — im Verbreitungsgrenzsraum des Waldes und am Rande der Ökumene gelegen — ist die Dauer und Intensität der thermisch bedingten Vegetationsperiode, ihre regionale Differenzierung und längerfristige Variabilität sowohl für die Vegetation als auch für die Agrarwirtschaft, sofern es sich nicht um Glashauskulturen handelt, von nicht zu unterschätzender Bedeutung. So erbrachten z. B. die Kartoffelernten der beiden letzten „Kältejahre“ 1979 und 1983 nur 75.3 bzw. 44.0% des im Zeitraum 1961 bis 1983 erreichten Mittelwertes von 8.089.1 Tonnen; im „Wärmejahr“ 1980 konnten dagegen 189.6% dieses Wertes geerntet werden (HAGSTOFA ÍSLANDS 1984: 67). Allerdings ist wegen der Komplexität der Verknüpfung agroökologischer Faktoren nicht immer eine Parallelität zwischen Dauer und Intensität der Vegetationsperiode und landwirtschaftlichen Erträgen festzustellen.

Es ist geplant, dem Zusammenhang von Vitalität der subarktischen Birkenwälder u. a. auf Island und der Variabilität der Vegetationsperiode weitere klimastatistische wie auch dendroklimatologische bzw. -ökologische Studien zu widmen.

Literatur

- Bahrenberg, G. & E. Giese (1975): Statistische Methoden und ihre Anwendung in der Geographie. — Teubner Studienbücher Geographie, Stuttgart.
- Berghthórsson, P. (1985): Sensivity of Icelandic agriculture to climatic variations. — *Climatic Change* 7: 111—127.
- Bjarnason, H. (1967): The development of the afforestation in Iceland. — *Det Norske Skogforsøksvesen* 84 (12), Vollbek.
- Bjarnason, H. (1974): Skógraekt á Íslandi 75 ára. — *Ársrit Skógraektarfélags Íslands*, 6—15, Reykjavik.
- Blüthgen, J. (1960): Der skandinavische Fjällbirkenwald als Landschaftsformation. — *Peterm. Geogr. Mitt.* 104: 119—144.
- Einarsson, M. Á. (1984): Climate of Iceland. — In: H. van Loon, Ed., *Climates of the Oceans, World Survey of Climatology* 15: 673—697, Amsterdam, Oxford, New York, Toronto.
- Eythórsson, J. & H. Sigtryggsson (1971): The climate and weather of Iceland. — In: *The Zoology of Iceland* 1 (3), Copenhagen, Reykjavik.
- Glawion, R. (1985): Die natürliche Vegetation Islands als Ausdruck des ökologischen Raumpotentials. — *Bochumer Geogr. Arb.* 45, Bochum.
- Hagstofa Íslands (1984): *Tölfræðihandbók 1984*. — Reykjavik.
- Larcher, W. (1973): *Ökologie der Pflanzen*. — UTB 232, Stuttgart.
- Liebricht, H. (1985): Zum thermischen Bodenklima im Tiefland Islands. — *Ber. Forschungsstelle Nedri Ás 45, Hveragerði (Island)*. 45.
- Odin, H., Eriksson, B. & K. Perttu (1983): Temperaturklimatkartor för svenskt skogsbruk. — *Sveriges Lantbruksuniversitet, Rapporter i skogsekologi och skoglig marklära* 45, Uppsala.
- Poole, L. & M. Borchers (?1980): 77 BASIC-Programme. — München.
- Ragnarsson, H. (1977): Um skógraektarskilyrði á Íslandi. — In: *Skógarmál*, 32—60, Reykjavik.
- Ruthsatz, B. & E. Geyger (1971): Wird die Intensivierung der Grünlandkultur in Island durch das Klima begrenzt? — *Ber. Forschungsstation Nedri Ás 8, Hveragerði (Island)*.
- Schunke, E. (1979): Aktuelle thermische Klimaveränderungen am Polarrand der Ökumene Europas — Ausmaß, Ursachen und Auswirkungen. — *Erdkunde* 33: 282—291.
- Sharp, J. J. & P. G. Sawden (1984): BASIC hydrology. — London.
- Sígfúsdóttir, A. B. (1969): Temperature in Stykkishólmur 1846—1968. — *Jökull* 19: 7—10.
- Treter, U. (1984): Die Baumgrenzen Skandinaviens — ökologische und dendroklimatische Untersuchungen. — *Wiss. Paperbacks Geographie, Wiesbaden*.
- Troll, C. (1964): Karte der Jahreszeitenklimate der Erde. — *Erdkunde* 18: 5—28.
- Tuhkanen, S. (1980): Climatic parameters and indices in plant geography. — *Acta Phytogeogr. Suecica* 67, Uppsala.
- Venzke, J.-F. (1982): Geoökologische Charakteristik der wüstenhaften Gebiete Islands. — *Essener Geogr. Arb.* 3, Essen.
- Venzke, J.-F. (1984): Desertifikationsbedingende geodynamische Prozesse und daraus resultierende Raumstrukturen in Island. — *Tagungsber. u. wiss. Abh.* 44. Dt. Geographentag Münster 1983, 328—337, Stuttgart.

V e n z k e , J.-F. & K. V e n z k e (1984): Meteorological records of Skíðadalur, Northern Iceland, Summer 1983. — Research Inst. Nedri Ás Bull. 41, Hveragerði (Island).