

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie
Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel
Band: 32 (1991)
Heft: 1

Artikel: Auswirkungen von Vegetationsänderungen auf den Strahlungshaushalt : eine methodische Studie aus Schwedisch-Lappland
Autor: Parlow, Eberhard / Scherer, Dieter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088655>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 14.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Auswirkungen von Vegetationsänderungen auf den Strahlungshaushalt

Eine methodische Studie aus Schwedisch-Lappland

Eberhard Parlow und Dieter Scherer

Zusammenfassung

Die vorgestellte Untersuchung diente der Erarbeitung grundlegender Methoden. Es wird gezeigt, wie man mit unterschiedlichen Datenquellen, von der Satellitenfernerkundung über die Geländearbeit zur Einbindung von Modellen und statistischen Verfahren, das Wirkungsgefüge zwischen Strahlungshaushalt, Vegetationsverteilung und topographischer Situation aufschlüsseln kann. Von grosser Bedeutung war die Erstellung von Software, die die Arbeit erst möglich machte.

Répercussions de changement de végétation sur le bilan de radiance: Une étude méthodologique menée en Laponie suédoise

Résumé

Le travail a permis, d'une part d'élaborer une méthodologie de base, d'autre part de montrer comment, à partir de données très différentes et en établissant une relation entre modèles et procédés statistiques, on pouvait arriver à saisir les interactions entre radiance, répartition végétale et topographie. Il convient de souligner l'importance des logiciels, sans lesquels le travail n'aurait pas été possible.

Effects of various vegetation on the radiation exchange. A study from Swedish Lapponia

Abstract

The purpose of this study has been to elaborate fundamentals of methodology. It shows how various data sources, ranging from remote sensing, to field work, model building, and statistical procedures, support the exploration of the interrelations between radiation exchange, distribution of the vegetation, and topographical conditions. Of particular importance was the creation of software which made this approach possible.

Adresse der Autoren: Prof.Dr. Eberhard Parlow, Dipl.Phys. Dieter Scherer, Geographisches Institut der Universität Basel, Abtlg. Meteorologie/Klimaökologie, Spalenring 145, CH-4055 Basel

1. Wissenschaftliche Zielsetzungen

Die vorgestellte Studie beleuchtet einen Aspekt eines klimatologischen Fernerkundungsprojektes, das im Rahmen des Nationalen Klimaforschungsprogrammes des Bundesministeriums für Forschung und Technologie der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1986-1990 durchgeführt und finanziert wurde. Dieses Projekt diente der Entwicklung von Methoden zur Erfassung klimarelevanter geoökologischer Daten und Raummuster mit Hilfe von Satellitendaten in borealen Ökosystemen. Neben den hauptsächlich verwendeten Bilddaten des amerikanischen Systems LANDSAT-TM (für die technischen Spezifikationen wird z.B. auf *Löffler* 1985 oder *Parlow* 1990b verwiesen) wurden im Gelände gemessene und über physikalische Modelle berechnete Datensätze in die Arbeiten miteinbezogen. Für die Verknüpfung dieser sehr unterschiedlichen Eingangsgrößen ist eine Softwareumgebung erforderlich, die dem Bearbeiter vielfältige Techniken eines Geographischen Informationssystems (GIS) zur Verfügung stellt. Für die Gesamtuntersuchung wurden verschiedene Testgebiete in Nordskandinavien entlang einer Traverse von Harstad/Norwegen bis Pajala/Schweden ausgewählt. Dieses Profil repräsentiert einen Schnitt von der hochmaritim geprägten Westküste in den schon deutlich kontinental beeinflussten Zentralteil der schwedischen Provinz Norrbotten. Der Kernraum der Untersuchung lag in der Umgebung von Abisko, wo die Naturwissenschaftliche Forschungsstation der Schwedischen Akademie der Wissenschaften eine ideale Ausgangsbasis für die umfänglichen Geländearbeiten war. Ziel dieses Teilprojektes war es, aufzuzeigen, auf welche Weise Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung simuliert und auf ihre Auswirkungen auf den Strahlungshaushalt hin analysiert werden können. Das wichtigste Bilanzglied stellt hierbei die langwellige, terrestrische Emission dar, die deshalb auch den Schwerpunkt der Untersuchung bildete.

2. Die Beeinflussung des Strahlungshaushalts durch Relief und Vegetation

Die Strahlungsbilanz ist eine fundamentale Steuergrösse des Wärmehaushaltes und kann durch folgende Formel beschrieben werden:

$$E^* = (S + E_d \downarrow) * (1 - \rho) + E_l \downarrow - E_l \uparrow$$

- S = direkte kurzwellige Einstrahlung
E_d↓ = diffuse kurzwellige Einstrahlung
ρ = Albedo
E_l↓ = atmosphärische langwellige Gegenstrahlung
E_l↑ = terrestrische langwellige Emission
E* = Strahlungsbilanz
(Symbolik nach *WMO* 1986)

Die Strahlungsbilanz geht zusammen mit dem fühlbaren, dem latenten und dem Boden- bzw. Bestandswärmestrom in die Wärmebilanzgleichung ein:

$$E^* + H + L + G = 0$$

- H = fühlbarer Wärmestrom
- L = latenter Wärmestrom
- G = Boden- und Bestandswärmestrom

Neben der generellen Beeinflussung aller Strahlungsterme durch die atmosphärischen Bedingungen und die Lage des Gebietes im Gradnetz, erfolgt eine standörtliche Variation der Strahlungsverhältnisse vor allem durch das Relief und die Vegetation. Die direkte kurzwellige Einstrahlung wird durch die Höhenlage über NN, die Hangneigung und Exposition sowie durch die Horizonteinschränkung massgeblich beeinflusst:

Mit zunehmender Höhe nimmt die Extinktion durch die durchstrahlte Atmosphäre ab, Hangneigung und Exposition bestimmen zusammen mit dem Sonnenazimut und -zenit den Einfallswinkel und damit die Strahlungsflussdichte, durch die Horizonteinschränkung wird schliesslich die Beschattung der Fläche gesteuert.

Der diffuse kurzwellige Strahlungsanteil erfährt eine Modifikation sowohl durch die Höhe in Form des zur Verfügung stehenden Streulichtes als auch durch die Horizonteinschränkung, die den oberen Halbraum über einem Flächenelement begrenzt.

Von den eben genannten Faktoren wird auch die langwellige atmosphärische Gegenstrahlung beeinflusst, wobei hier vor allem die Massen- und Temperaturabnahme der Atmosphäre über der Landoberfläche die dominante Rolle spielen.

Im Gegensatz zu den bisher genannten Energiequellen werden die beiden Verlustterme, die kurzwellige Reflexion und die langwellige terrestrische Emission, in starkem Masse durch die Oberflächeneigenschaften geregelt. Die Albedo, die von der Vegetationsbedeckung und dem Vegetationstyp bzw. von bodenphysikalischen Eigenschaften im Falle vegetationsloser Standorte abhängt, legt das Verhältnis von reflektierter zu eingesetzter Energie fest. Gerade in polaren Gebieten nicht zu vernachlässigen sind hierbei auch die Schnee- und Gletscheroberflächen, deren Albedo typischerweise extrem hohe Werte aufweisen.

Letztlich erfährt die langwellige terrestrische Emission wie kein anderer Strahlungsterm eine Rückkopplung durch die anderen Glieder des Wärmehaushaltes: Der Bodenwärmestrom wird vor allem über Bodenart und -feuchte geregelt, indem die Wärmeleitfähigkeit und -kapazität von diesen Grössen bestimmt werden. Die direkte Wärmeaufnahme durch die Vegetation ist im allgemeinen vernachlässigbar, jedoch beeinflusst die Vegetation durchaus die Energieaufnahme und -abgabe über den Bedeckungsgrad und das Volumen des Bestandsraumes. Der latente Wärmestrom ist direkt durch die Evapotranspiration gegeben, die ihrerseits durch den Feuchtegradienten in der Grenzschicht festgelegt ist. Im Gegensatz zum Boden kann die Vegetation aktiv den Partialdruck des Wasserdampfes an ihrer Oberfläche beeinflussen, sei es durch Regelung des Stomawiderstandes oder aber durch andere Schutzmechanismen (z.B. Glashaare bei Moosen). Der Temperaturgradient an der Oberfläche führt direkt zum fühlbaren Wärmestrom. Die Oberflächentemperatur T_o steht über das Gesetz von Stefan-Boltzmann:

$$S = e * \sigma * T$$

- σ = Stefan-Boltzmann-Konstante ($5.6697 * 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)
 e = Emittanz
 T_o = Oberflächentemperatur in Kelvin

in direktem Zusammenhang mit der langwelligen Emission. Die Emittanz ist ebenfalls eine Oberflächeneigenschaft und somit von der Vegetation abhängig.

Fühlbarer und latenter Wärmestrom werden zusätzlich durch das lokale Windfeld modifiziert, da dieses durch horizontale und vertikale Transporte des Wasserdampfes und temperierter Luftmassen die jeweiligen Gradienten aufrechterhält. Aus der Vegetation leiten sich unterschiedliche Rauhigkeitslängen ab, welche die Austauschprozesse wiederum modifizieren.

3. Der Einsatz der Fernerkundung zur Erfassung des Strahlungshaushalts

In Abb. 1 wird graphisch dargestellt, wie der methodische Weg zur Berechnung der Strahlungsbilanz geneigter Flächen unter Verwendung von Satellitendaten, einem digitalen Geländemodell, Stationsdaten und physikalischen Modellen aussieht. Mit diesem Ansatz werden die Einflüsse der Topographie und der Vegetation berücksichtigt und man gelangt zu flächendeckenden Datensätzen.

Von zentraler Bedeutung ist das digitale Geländemodell, bestehend aus Höhe, Hangneigung, Exposition und Horizonteinschränkung, wobei die letzten drei Informationsschichten aus der Höheninformation abgeleitet sind. Diese Datenebenen finden Eingang in ein Modell zur Berechnung der direkten und diffusen Einstrahlung für wolkenlose Wetterbedingungen unter Berücksichtigung zahlreicher astronomischer und atmosphärischer Randbedingungen (geographische Breite, Jahres- und Tageszeit, Trübung etc.) (Parlow 1988, Scherer 1987).

Multispektrale Satellitendaten können zu einer Vegetationsklassifikation herangezogen werden. Die üblicherweise verwendeten Standardalgorithmen (euklidische Distanz, Maximum-Likelihood etc.) bringen in reliefierten Regionen das Problem mit sich, dass die unterschiedliche Strahlungsexposition während des Satellitenüberfluges zu Fehlklassifikationen führen kann. Deswegen wurde ein weiterer Zwischenschritt eingeschaltet, der mit Hilfe der berechneten Einstrahlung und den Sensorcharakteristika zu einer Strahlungsnormierung der Satellitendaten führt. Die so einstrahlungskorrigierten Bilddaten liefern ein signifikant besseres Klassifikationsergebnis als die Originaldaten.

Mit Hilfe eines Substitutionsverfahrens wird jeder Vegetationsklasse ein mittlerer Albedowert zugewiesen, so dass hieraus zusammen mit der berechneten Einstrahlung die kurzwellige Reflexion flächendeckend approximiert werden kann.

Die langwellige Emission, die durch die Strahlungstemperatur gegeben ist, wird aus den kalibrierten Thermalinfrarotdaten des LANDSAT-TM (Kanal 6) unter Miteinbeziehung eines Strahlungstransportmodells berechnet. Dieses Modell, das den Einfluss der At-

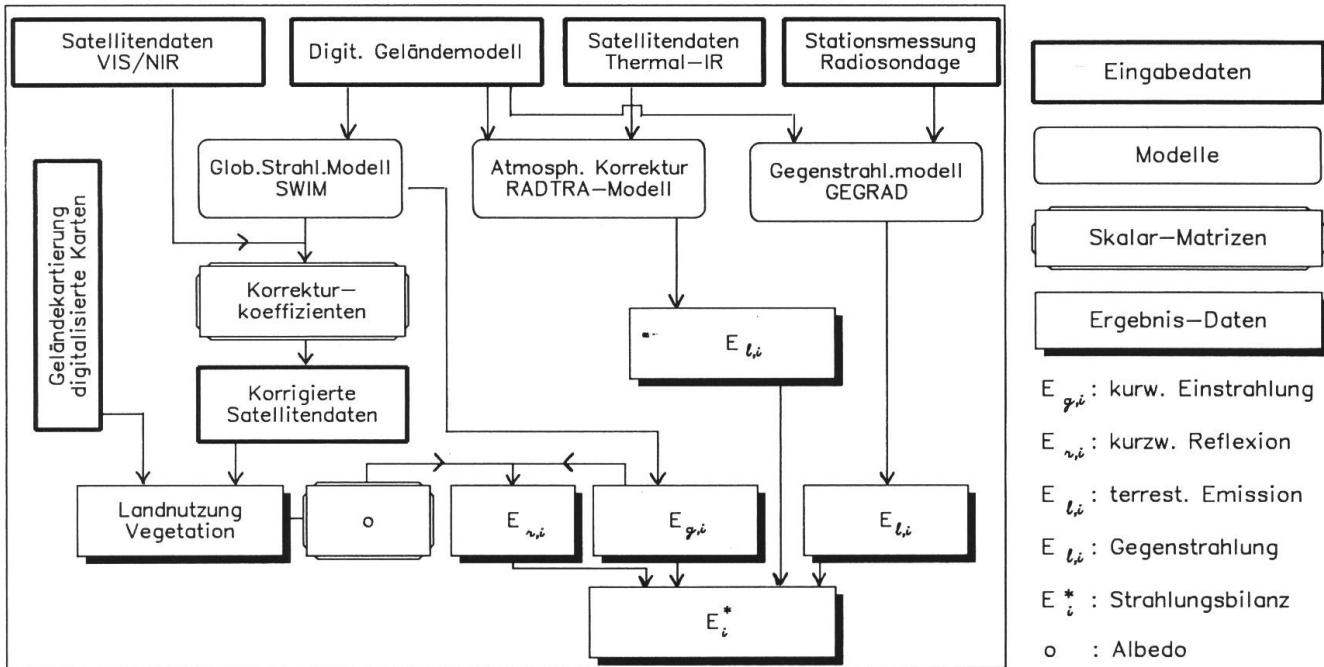


Abb. 1 Modell zur flächendeckenden Bestimmung der Strahlungsbilanz

mosphäre auf die im Satelliten gemessene Strahlungsflussdichte korrigiert, basiert auf dem WINDOW-Modell (Price 1980, 1984), wobei dieses dahingehend modifiziert wurde, dass für jedes Pixel dessen Höhenlage mitberücksichtigt wird.

Der am schwierigsten zu erfassende Term der Strahlungsbilanz, die atmosphärische Gegenstrahlung, wurde über einen Modellansatz approximiert, der auf einer Formel von Brutsaert (1982), einem Radiosondenaufstieg sowie dem digitalen Geländemodell basiert (Parlow 1990a).

4. Die Ermittlung von Einflussfaktoren des Strahlungshaushaltes

In Kapitel 2 wurde detailliert beschrieben, in welcher Form die einzelnen Strahlungsterme durch die Vegetation und das Relief beeinflusst werden. In Anbetracht dessen, dass sich diese Arbeit im wesentlichen auf Einflüsse beschränkt, die durch eine mögliche Vegetationsänderung hervorgerufen werden können, darf die Betrachtung auf die Verlustterme Reflexion und terrestrische Emission begrenzt werden, da im Falle einer Vegetationsänderung die restlichen Glieder, wie in Kapitel 3 beschrieben, unverändert berechnet werden können.

Für die Berechnung der Reflexion muss die Vorgehensweise nur dahingehend modifiziert werden, dass die Substitution durch Albedowerte auf einer veränderten Vegetationsklassifikation durchgeführt wird.

Einflüsse auf den Strahlungshaushalt resultieren daher vor allem aus Effekten der terrestrischen Emission, da die Albedowerte vegetationsbestandener Flächen sich nur unwesentlich unterscheiden (z.B. Birkenwald 14 %, niedrigbewachsene Heide 18 %).

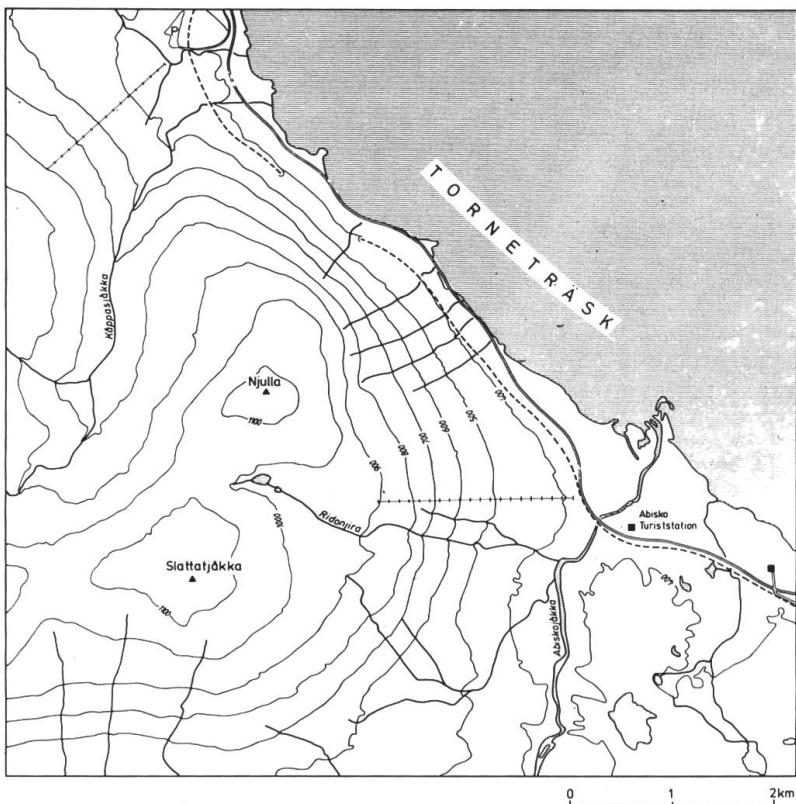


Abb. 2 Topographie des Untersuchungsgebietes

Die Ermittlung der Einflussfaktoren auf die terrestrische Emission kann über einen multiplen linearen Regressionsansatz erfolgen, der als unabhängige Variablen die Höhe, die kurzwellige Einstrahlung sowie die Prozentanteile der einzelnen Vegetationsklassen, und als abhängige Variable die terrestrische Emission beinhaltet. Dieses Regressionsmodell lässt sich aus einer Betrachtung des Wärmehaushaltes unter Verwendung von Standardparametrisierungen begründen (Scherer 1987, Scherer & Parlow 1990). Die Energiegrößen gehen linear in den Wärmehaushalt ein; die Vegetationsklassen liefern einen unbekannten, aber eindeutigen Satz von Parametern, die flächengewichtet in die terrestrische Ausstrahlung einfließen.

Im Gegensatz zu der Vegetationsklassifikation, die in der vollen LANDSAT-TM-Auflösung von 30 m x 30 m berechnet wurde, liegen die Thermaldata in einer Auflösung von 120 m x 120 m vor. Die Prozentanteile der Klassen ergeben sich somit für jedes dieser Thermalpixel aus den Häufigkeiten der 16 hochauflösten Pixel. Die Höhen- und Einstrahlungswerte, die ebenfalls in der besseren Auflösung vorliegen, werden durch Mittelwertsbildung auf 120 m umgerechnet.

Das Ergebnis der Regression liefert für jede unabhängige Variable einen Koeffizienten, der ein Mass für die Einflussstärke darstellt, sowie eine Regressionskonstante, welche zusammen mit den Koeffizienten zu einer Vorhersage für die terrestrische Emission genutzt wird.

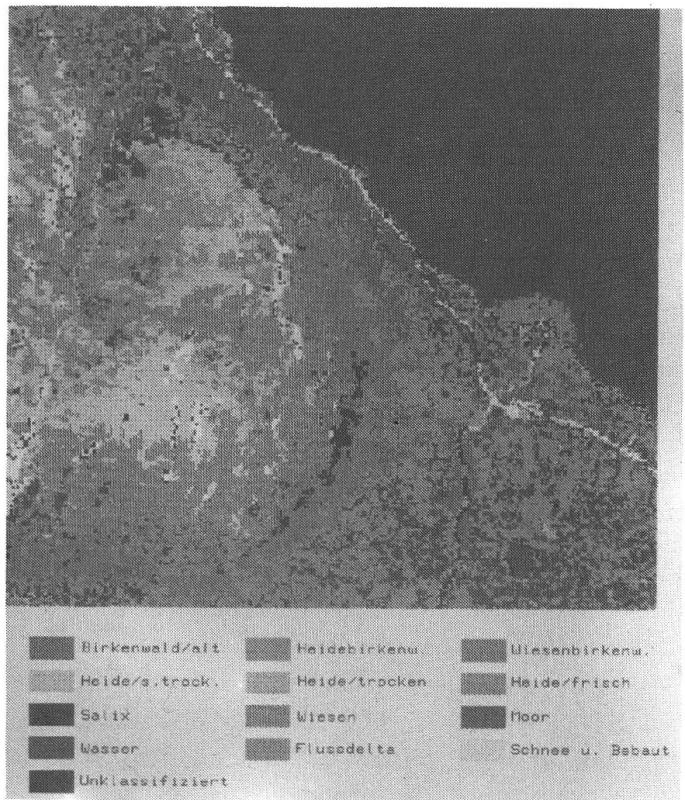


Abb. 3 Vegetationsverteilung

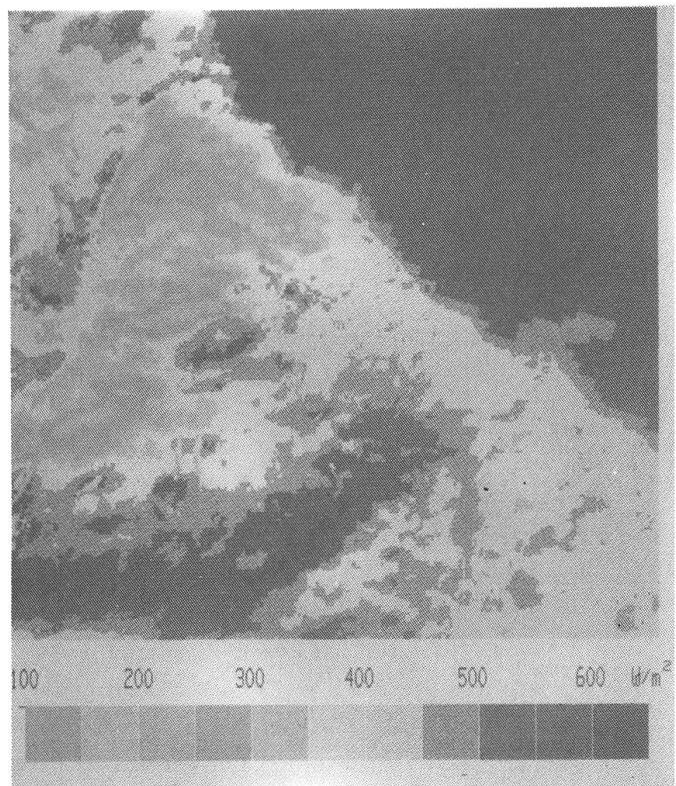


Abb. 4 Strahlungsbilanz

5. Simulation von Vegetationsänderungen

Das Untersuchungsgebiet liegt an der Polargrenze des borealen Nadelwaldes, dessen Haupt-Bestandsbildnerin die Fjällbirke (*Betula tortuosa*) ist. Der Übergang in die subpolaren Fjällheiden findet im allgemeinen in einer Höhenlage von ca. 700 m NN statt. Die Gipfelhöhen im Untersuchungsgebiet reichen bis ca. 1200 m NN.

Eine Vegetationsänderung kann zu einer vollständigen Bewaldung bis in höchste Lagen führen. Auf die Ursachen einer solchen Vegetationsänderung soll in dieser Arbeit nicht eingegangen werden (die Brisanz dieser Frage ist durch die Diskussion über die aktuellen Klimaprobleme aufgezeigt), jedoch wird angenommen, dass Einstrahlungssituation und Reaktion der Vegetation sich im Vergleich zu heute nicht wesentlich ändern (auch in den Kaltzeiten war das Strahlungsklima mit dem heutigen vergleichbar).

Die Simulation der Vegetationsveränderung beinhaltet unveränderte Vegetationsklassen unter 600 m NN, jedoch die Ausdehnung der Birkenwaldklasse auf alle Flächen über 600 m NN. Dies wurde bewerkstelligt, indem mit Hilfe des Geländemodells alle Gebiete über 600 m NN digital maskiert und die Vegetationsklassen, über die Maskierung gesteuert, auf die Birkenwaldklasse gesetzt wurden.

6. Ergebnisse

Abb. 4 zeigt das Ergebnis der Strahlungsbilanzberechnung für das Untersuchungsgebiet zum Zeitpunkt des Satellitenüberfluges am 20.7.1986 um 10.32 Uhr WOZ.

Die Wasserfläche des Torneträsk, die ca. 30 % der Gesamtfläche einnimmt, zeigt erwartungsgemäss relativ einheitliche Verhältnisse um ca. $500 - 550 \text{ W/m}^2$. Die Landflächen dagegen zeigen insgesamt stark variierende, der Topographie und der Vegetation folgende Muster. Bedingt durch die im allgemeinen höheren Oberflächentemperaturen liegen die Strahlungsbilanzen im Mittel um ca. $100 - 150 \text{ W/m}^2$ niedriger.

Im flachen Hügelland des Abisko-Nationalparkes wird das räumliche Muster vor allem durch die Vegetation gesteuert. Sobald man in das stärker reliefierte Terrain des Njulla und des Slåttatjäkka gelangt, werden die reliefbedingten Einstrahlungsunterschiede zum dominierenden Faktor in der Strahlungsbilanz. In den sonnenexponierten SE-Hängen erreicht diese Maximalwerte von $600 - 650 \text{ W/m}^2$. In den NW-exponierten Hangbereichen (z.B. im Gebiet des Kåppasjäkka-Tales) gehen die Werte z.T. bis auf $150 - 200 \text{ W/m}^2$ herunter. Die vereinzelt anzutreffenden Schneeflächen zeigen Minimalwerte bis unter 100 W/m^2 .

Wie in Kap. 4 beschrieben, wurde eine multiple lineare Regression zwischen der terrestrischen Emission und den diese bestimmenden Einflussgrössen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tab. 1 aufgeführt.

Feuchte Fjällheide	$0.2126 \text{ W/m}^2 * \%$ -Anteil
Trockene Fjällheide	$0.1940 \text{ W/m}^2 * \%$ -Anteil
Alpine Wiese	$0.3298 \text{ W/m}^2 * \%$ -Anteil
Moor	$0.1735 \text{ W/m}^2 * \%$ -Anteil
Salix-Areal	$-0.2280 \text{ W/m}^2 * \%$ -Anteil
Birkenwald	$0.0930 \text{ W/m}^2 * \%$ -Anteil
Gewässer	$-0.4961 \text{ W/m}^2 * \%$ -Anteil
Kurzwellige Einstrahlung	$0.1112 (\text{W/m}^2)/(\text{W/m}^2)$
Regressionskonstante	309.8186 W/m^2
Bestimmtheitskoeffizient	92.2 %

Tab 1 Regressionsergebnisse

Um diese Werte zu verdeutlichen, sei folgendes Beispiel genannt: die Seefläche des Torneträsk (100 % Gewässeranteil), die eine kurzwellige Einstrahlung von 645 W/m^2 aufweist, liefert nach der Regression einen Emissionswert von 332 W/m^2 . Dieser Wert weicht weniger als 2 % vom gemessenen Wert ab. ($645 * 0.1112 - 0.4961 * 100 + 309.8186$)

Dieser extrem negative Koeffizient der Gewässerflächen resultiert aus den geringen Wassertemperaturen und ist daher für die höheren Bilanzwerte mitverantwortlich.

Neben den Gewässerflächen weisen nur noch die Salix-Areale einen negativen Koeffizienten auf. Auch hier spielt das Wasser eine wesentliche Rolle, da diese Areale in der Regel Feuchtstandorte mit reduzierter Oberflächentemperatur und relativ hoher Evapotranspiration sind. Die kurzwellige Einstrahlung wirkt sich erwartungsgemäss positiv auf die Oberflächentemperaturen aus. Von der eingestrahlten Energie werden ca. 11 % zur Erhöhung der terrestrischen Emission umgesetzt.

Auffallend sind bei den übrigen Vegetationsklassen zwei Phänomene: Zum einen ist der positive Einfluss des Birkenwaldes im Vergleich zu den übrigen Klassen gering, zum anderen kann aus dem überraschend hohen Koeffizienten der alpinen Wiesenflächen auf die Wärmegunst dieser Standorte geschlossen werden.

Unter Verwendung der Regressionsergebnisse ist die Strahlungstemperaturverteilung im Untersuchungsgebiet neu berechnet worden. Das Ergebnis zeigt aufgrund der hohen Varianzerklärung ($r = 0.9602$ bei 5183 Ereignissen) nur geringe Abweichungen gegenüber den korrigierten Satellitendaten.

Nachdem wie bereits beschrieben die Vegetation oberhalb 600 m NN zugunsten des Birkenwaldes modifiziert wurde, konnten die Vegetationsanteile in der 120 m Auflösung neu berechnet werden. Auf diese veränderten Anteile wurde das Regressionsergebnis erneut angewandt, um zu einer simulierten Strahlungstemperaturverteilung zu gelangen.

Wie schon aus den abstrakten Betrachtungen zu den Regressionskoeffizienten abzuleiten war, führte die Veränderung der Vegetation zu einer deutlichen Reduktion der Strahlungstemperaturen um ca. 1 – 4 K, vor allem in den Bereichen, die zuvor von alpinen Wiesen eingenommen wurden. Einzig die schmalen Streifen von Salix im Bereich des Baumgrenzökotops zeigten nach der Simulation höhere Temperaturwerte. Die Temperaturabsenkung durch die Vegetationsänderung führt über die Verringerung der terrestrischen Emission zu einer Erhöhung der Strahlungsbilanz und spiegelt die veränderte Wärmehaushaltssituation wider. Obwohl man mit dieser Methode noch nicht direkt die Umstellung der einzelnen Wärmeflüsse analysieren kann, lässt das Ergebnis Rückschlüsse auf die Kopplung von Standortbedingungen und Strahlungshaushalt zu.

7. Zusammenfassung

Mit dieser Arbeit wurden grundlegende Methoden erarbeitet und aufgezeigt, wie man mit unterschiedlichen Datenquellen, von der Satellitenfernerkundung bis zur Geländearbeit, der Einbindung von Modellen und statistischen Verfahren das Wirkungsgefüge zwischen Strahlungshaushalt, Vegetationsverteilung und topographischer Situation aufschlüsseln und somit mehr Einblick in die standörtlichen Verhältnisse erlangen kann. Von grosser Bedeutung ist hierbei die Erstellung von Software aus den Bereichen der digitalen Bildverarbeitung und rasterorientierten Geographischen Informationssystemen gewesen, ohne die die hier vorgestellte Arbeit nicht denkbar gewesen wäre.

8. Literaturverzeichnis

- Brutsaert W. 1982. *Evaporation into the atmosphere – theory, history and application.* Dordrecht.
- EARTHNET. *LANDSAT-4 coverage index of MSS and TM. Earthnet User Services,* Rom.
- Endlicher W., Gossman H. (eds) 1986. *Fernerkundung und Raumanalyse. Klimatologische und landschaftsökologische Auswertung von Fernerkundungsdaten.* Wissenschafts-Verlag Karlsruhe.
- Löffler E. 1985. *Geographie und Fernerkundung.* Stuttgart.
- Parlow E. 1988. *Ableitung strahlungsklimatologischer Daten und Raummuster für ein subpolares Ökosystem Nordskandinaviens mit Hilfe der Digitalen Bildverarbeitung.* Geowissenschaftl. Fakultät, Universität Freiburg.
- Parlow E. 1990a. Spatial patterns of radiation fluxes using LANDSAT-TM-data and GIS-techniques. *Proceedings of EARSeL-Symposium at Helsinki 1989*, 441-447. European Community, Brüssel-Luxemburg.
- Parlow E. 1990b. Grundanforderungen an ein Fernerkundungskonzept Blatt Kandern, *Regio Basiliensis* 31(1), 73-82.
- Price J. 1980. *On the atmospheric correction to satellite thermal infrared measurements.* Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland.
- Price J. 1984. Comparison of the information content of data from the LANDSAT-4 thematic mapper and the multispectral scanner. *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing* GE-22 (3), 272-281.
- Scherer D. 1987. *Die Erfassung subskaliger Strukturen in Oberflächentemperaturbildern mit Hilfe von geographischen Zusatzdaten.* Staatsexamensarbeit, Universität Freiburg, (unveröffentlicht).
- Scherer D., Parlow E. 1990. Calculation of synthetic thermal images with enhanced spatial resolution from NOAA-AVHRR satellite images. *Proceedings of EARSeL-Symposium at Helsinki 1989*, 448-453. European Community, Brüssel-Luxemburg.
- WMO. 1986. Revised instruction manual on radiation instruments and measurements. *World Climate Research Programme Publication Series 7*, WMO/TD – No. 149.