

Deutscher Wetterdienst



Annalen der Meteorologie

39



4. Fachtagung BIOMET

(19.-20. April 1999 in München)

des **Fachausschusses BIOMET der DMG**
gemeinsam mit der **Gesellschaft**

zur **Förderung Medizin-Meteorologischer Forschung e.V.**



Deutscher Wetterdienst



Annalen der Meteorologie

39



4. Fachtagung BIOMET

(19.-20. April 1999 in München)

des Fachausschusses BIOMET der DMG

gemeinsam mit der Gesellschaft

zur Förderung Medizin-Meteorologischer Forschung e.V.



Zur Herstellung dieses Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

ISSN 0072-4122
ISBN 3-88148-356-X

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, verboten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Deutschen Wetterdienstes in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm, oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden. Für den Inhalt ist der Autor verantwortlich.

Herausgeber und Verlag:
Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Str. 135
63067 Offenbach am Main

Inhaltsverzeichnis

Seite

HÖPPE, P.: Vorwort

AGRARMETEOROLOGIE

HÄCKEL, H., RÖTZER, T., WÜRLÄNDER, R.: Der agrar- und umweltklimatologische Atlas von Bayern - eine moderne Planungshilfe	7
LÖPMEIER, F.-J.: Agrarklimatologie als EDV-gestütztes agrarmeteorologisches Informationssystem in der Beratung der Landwirtschaft und Landschaftsplanung	10
HOPPMAN, D.: Die Neuauflage der Weinbaustandortkarte im Rheingau im Maßstab 1:25000	13
BERNHOFER, CHR.: Meteorologische Aspekte des Wasser- und Kohlenstoffhaushaltes auf Landschaftsebene	16
NIEMEYER, S.: Monitoring von Trockenheitsperioden mittels eines Energiebilanz-Modells basierend auf synoptischen und Fernerkundungsdaten	19
CHMIELEWSKI, F.-M.: Witterungsabhängigkeit der Ertragsbildung von Wintergetreide im Vergleich zu sommerannuellen Arten	22
MAIER, H.: Auswirkung einer Klimaänderung auf das Wachstum von Winterweizen	25
ODYA, S., STÜDEMANN, O., ECKERT, S.: Nachweis einer standörtlichen Dynamik der Ozonwirkung an Tabak im Großraum Rostock	28
SCHAUBERGER, G.: Tageszeitliche und jahreszeitliche Variation der Geruchsemission aus der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung	31
SCHAUBERGER, G.: Bilanzmodelle zur Simulation des Raumklimas in der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung	34

PHÄNOLOGIE

DEFILA, C.: Pflanzenphänologie in der Schweiz (Abstract)	37
RÖTZER, TH.: 40 Jahre Beobachtungen in den Internationalen Phänologischen Gärten	38
MENZEL, A.: Phänologie als Global-Change-Bioindikator	41

FORSTMETEOROLOGIE

ZIMMERMANN, L.: Quantifizierung der Nebeldeposition für Fichtenwälder in den Hochlagen des Ost-Erzgebirges	44
MARQUES, M.: Die Depositionsgeschwindigkeiten von Partikeln für einen Fichtenbestand (Abstr.)	47
MAYER, H., FRITSCH, J., MATZARAKIS, A.: Verdunstung eines bewaldeten Hanges	48
KOHLER, M., MATZARAKIS, A., MAYER, H.: Turbulenter Luftmassenaustausch über einem Kiefernwald	51
NÜTZMANN, E.: Vertikaler Austausch in einem Fichten-Altbestand	54
MORGENSTERN, K., FALK, M., OLTCEV, S., IBROM, A., GRAVENHORTS, G.: Charakterisierung der turbulenten Diffusion im Stammraum eines Fichtenbestandes	56
QUECK, R.: Pflanzen als Akzeptoren atmosphärischer Stofffrachten	59
SCHNITZLER, G.: Abbauwege von Ozon in einem Fichten-Altbestand (Abstract)	62
GRAVENHORST, G.: N- und S- Bilanzen eines Waldökosystems (Abstract)	63
REITMAYER, H., FABIAN, P.: Beschreibung eines Vielkanalsystems zur räumlich, zeitlich und spektral hochaufgelösten Messung der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR)	64
IBROM, A.: Die Biophysikalische Steuerung der CO ₂ -Bilanzen eines Fichtenbestandes	67
GRÜNWALD, T., BERNHOFER, C.: Variabilität der Photosyntheseaktivität eines Fichtenbestandes in Abhängigkeit von meteorologischen Einflußgrößen	70

	Seite
PANFYOROV, O.: 3 D Simulation der Photosynthese in einem Fichtenalbestand (Abstract)	73
MAYER, H., TRÜTZLER, J, MATZARAKIS, A.: Witterungsstress auf Buchenwälder	74
HUMAN-BIOMETEOROLOGIE	
KATZSCHNER, L.: Skalierungsprobleme bioklimatischer Komplexgrößen in tropischen Städten	77
JENDRITZKY, G., TINZ, B.: Bioklimakarten als Grundlage für die Klimafolgenforschung im Humanbereich	80
GOLDBERG, V.: Modellierung bioklimatologischer Kennziffern in Wald und Freiland mit dem gekoppelten Vegetations-Grenzschichtmodell HIRVAC	83
MATZARAKIS, A.: Stadtklima - Informationen über Internet (Abstract)	86
MÜLLER, U.: Raumklima und thermische Belastung - Ergebnisse Leipziger Untersuchungen	87
MAYER, E.: DRESSMAN (Dummy REpresenting Suit for Simulation of huMAN heat loss), der neue Klimaaanzug (Abstract)	90
SCHAUBERGER, G.: Validierung des österreichischen Vorhersagemodells für die biologisch effektive UV-Strahlung (UV-Index)	91
REUDER, J., KOEPKE, P., DAMERIS, M.: Szenarien biologisch relevanter UV-Strahlung im nächsten Jahrhundert	94
OETTINGER, W.P., EISERT, B., GERL, A., BETZ, H.-D.: Klassifikation von Sferics für biometeorologische Korrelationsuntersuchungen	98
MATZARAKIS, A., MAYER, H., SCEPANSKI, P.: Vergleichende Analyse der Luftqualität in Stadt und Wald	101
SCHULTZ, E.: Untersuchungen zur Depositionsgeschwindigkeit der Pollen unter atmosphärischen Bedingungen (Abstract)	104
MÜCKE, H.-G.: Stickstoffdioxid - Kenntnisstand zur Belastungssituation und zu gesundheitlichen Wirkungen	105
JAKOBI, G.: Anforderungen an lufthygienische Messungen für umweltmedizinische Untersuchungen	108
SCHUH, A.: Stand der Wissenschaft in der Klimatherapie	111
HENNEBERGER, A., SCHUH, A., FABIAN, P., HÖLZEL, D.: Wetter und körperliche Belastung bei Gesunden	114
BUCHER, K.: BIOPROGs - die zeitkritischen medizinmeteorologischen Produkte im DWD	117
CEGNAR, T.: Implementation of Heat Watch/Warning System in Europe	119
WEIHE, W.: Klassifikation atmosphärischer Faktoren mit biotroper Wirkung nach Art der Rezeption im Organismus	122
HÖPPE, P.: Die Bedeutung der Human-Biometeorologie für die Umweltmedizin	125
HÖPPE, P.: Presseerklärung zum Roundtablegespräch "Biometeorologische Hinweise in den Medien"	128

Vorwort

Am 19. und 20. April 1999 fand in den Räumen der Carl Friedrich von Siemens Stiftung in München-Nymphenburg die 4. Fachtagung BIOMET statt. Sie wurde vom Fachausschuß Biometeorologie (FA BIOMET) der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft (DMG) gemeinsam mit der Gesellschaft zur Förderung Medizin-Meteorologischer Forschung e.V. (GzFMMF) veranstaltet. Die Tagung wurde vom Vorsitzenden des FA BIOMET und Mitarbeitern/innen des Instituts und der Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität, München (Direktor Prof. Dr. med. D. Nowak) organisiert.

In der 4. Fachtagung BIOMET erhielten nach einer Reihe von fachspezifischen Tagungen des Fachausschusses BIOMET nach längerer Zeit wieder alle wesentlichen Fachdisziplinen der Biometeorologie - Agrarmeteorologie, Phänologie, Forstmeteorologie und Human-Biometeorologie - gemeinsam die Gelegenheit neue Forschungsergebnisse vorzustellen und zu diskutieren. Insgesamt wurden 46 Fachvorträge gehalten. Da von acht Referenten keine gesonderten Beiträge für diesen Band der Annalen eingereicht wurden, liegen von diesen nur Abstracts vor.

PD Dr. Peter Höppe

Vorsitzender des FA BIOMET (bis 20.4.1999)

DER "AGRAR- UND UMWELTKLIMATOLOGISCHE ATLAS VON BAYERN" EINE MODERNE PLANUNGSHILFE

H. Häckel, T. Rötzer, R. Würländer
Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Landwirtschaft, Niederlassung Weihenstephan
Bachstr. 7; 85406 Zolling

ZUSAMMENFASSUNG

Der Agrar- und Umweltklimatische Atlas von Bayern ist eine CD-ROM mit 157 Graphiken, 103 Karten und 25 Tabellen. Folgende Themen werden behandelt: Jahresablauf der Witterung, Phänologie, Wasserhaushalt des Bodens, Grünlandwachstum, Spätfrostgefährdung, klimabedingte Anbauwürdigkeit landwirtschaftlicher und gärtnerische Kulturen, klimabedingter Infektionsdruck wichtiger Pflanzenkrankheiten, potentielle Auswirkungen einer Klimaänderung auf Produktion und Ertrag landwirtschaftlicher Nutzpflanzen. Jedes Kapitel ist mit einem ausführlichen erläuternden Text versehen. Ein Literaturverzeichnis weist den Weg zur weiteren Vertiefung.

EINLEITUNG

Der Agrar- und Umweltklimatologische Atlas von Bayern wurde beim Deutschen Wetterdienst in Weihenstephan in Zusammenarbeit mit dem Institut für Fotogrammetrie der TU München erarbeitet. Neben den genannten Autoren haben noch eine Reihe von Wissenschaftlern Beiträge dazu geliefert. Das Projekt wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten finanziell gefördert.

Der Atlas wendet sich an Landschaftsplaner und Städteplaner, Architekten und Ökologen, Wasserwirtschaftler, Umwelt-, Verkehrs- und Industriepaner; an Landwirte, die größere Investitionen vorhaben und an die Landwirtschaftsberater, die sie dabei unterstützen sollen. Auflagen, Verbote oder finanzielle Förderungen verlangen von den politischen Entscheidungsträgern fundiertes fachliches Wissen, damit ihre Entscheidungen auch allen Anfechtungen standhalten. Daher zählen Politiker sogar zu den besonders wichtigen Bedarfsträgern für agrar- und umweltklimatologische Informationen. Und da Naturbewußtsein in der Schule beginnt, ist das Werk auch für alle Schulsparten gedacht.

KARTOGRAPHIE

Sämtliche agrarklimatologischen Größen liegen als unregelmäßig verteilte Stationswerte vor. In den Karten wird jedoch eine vollständige Wiedergabe auf der gesamten Landesfläche von Bayern verlangt. Folglich müssen die Flächen zwischen den Stationen möglichst realistisch mit Information gefüllt werden. Dafür gibt es verschiedene mathematische und statistische Verfahren, die je nach Art des darzustellenden Kartenelementes unterschiedlich gut geeignet sind.

Primär bietet sich die Verwendung einer flächenhaften Interpolationsmethode an. Wird das darzustellende Element jedoch von anderen raumbezogenen Parametern beeinflusst, ist eine reine Interpolationsmethode unzulässig. So sind z.B. Temperaturwerte deutlich mit der Höhenlage korreliert. Um auch solche Abhängigkeiten bei der flächenhaften Darstellung zu berücksichtigen, müssen statistische Verfahren wie die multiple Regressionsanalyse herangezogen werden. Neben der Höhe über NN wurden folgende Geofaktoren berücksichtigt: Geographische Länge und Breite, Geländeneigung, Strahlungsexposition, Landnutzung, relative Lage zu Gebirgen (Luv-/Lee-Effekt), Größe von Kaltluftzugsgebieten und Nebelhäufigkeit. Die statistischen Abhängigkeiten wurden über eine multiple Regressionsanalyse ermittelt, die Signifikanz der einzelnen Faktoren durch geeignete Tests überprüft. Die Ergebnisse der multiplen Regressionsanalyse konnten anschließend zur Berechnung des Kartenwertes an jedem Rasterelement verwendet werden. Fehlende Geofaktoren wurden auf der Grundlage

eines digitalen Geländemodells von Bayern mit einer Rasterweite von 400 x 400 m mit zum Teil neu entwickelten Methoden für jedes Element des Kartenrasters abgeleitet.

Bei Anwendung der beschriebenen rein statistischen Methode entstehen an den Stationen teilweise deutliche Abweichungen zwischen den Meßwerten und den statistisch bestimmten Werten. Diese Residuen können nicht ausschließlich auf Beobachtungsfehler zurückgeführt werden, sondern enthalten charakteristische, kleinräumige Einflüsse. Sie werden deshalb für die Berechnung der agrarklimatologischen Karten zusätzlich zur Regressionsanalyse herangezogen, indem sie mit Hilfe eines Approximationsverfahrens in die Rasterfläche interpoliert werden. Die Addition dieser aus der Residueninterpolation und der Regressionsanalyse erhaltenen Rasterwerte ergibt das endgültige Raster mit den Werten der agrarklimatologischen Größen. Das Endergebnis der Regionalisierung ist eine Matrix mit agrarklimatologischen Werten.

Diese Werte sind in bis zu 14 Klassen unterteilt. Die klassifizierten Karten sind mit einer digitalen Schummerung überlagert. Damit wird es dem Betrachter in einfacher Weise möglich, sich über das Gelände relief in der Karte zu orientieren und zugleich die Abhängigkeiten der agrarklimatologischen Größen vom Gelände zu erkennen. Zusätzlich erleichtert die Wiedergabe ausgewählter Orte im Kartenbild die Orientierung in der Landesfläche.

BEHANDELTE THEMEN

Das Werk umfaßt 14 Kapitel. Nach einem kurzen Überblick über die **Geographie, die Naturräume und die Landnutzung** Bayerns werden im zweiten Kapitel die Unterschiede im mittleren **Jahresablauf der Witterung** in Bayern am Beispiel langjähriger Meßreihen der Stationen Kempten, Freising-Weihenstephan, Metten, Weissenburg, Hof und Schweinfurt dargestellt. Die Abbildungen zeigen den Ablauf von Temperatur und Niederschlag, der Frosthäufigkeit, der Sonnenscheindauer, der Häufigkeit von trockenen Tagen und von Tagen mit verschiedenen ergiebigen Niederschlägen.

Ein sehr umfangreiches Kapitel befaßt sich mit der "**Phänologie**". Darunter versteht man den Zusammenhang zwischen der Vegetationsentwicklung und der Witterung. Mit Hilfe phänologischer Analysen läßt sich ein Vegetationskalender entwickeln, der sich an der Reaktion der Pflanzenwelt auf den Witterungsablauf orientiert und damit die starren Grenzen des gesetzlichen Kalenders sprengt. Mit dem phänologischen Kalender läßt sich die Gunst oder Ungunst des Klimas einer Region viel besser deutlich machen als mit den üblicherweise verwendeten starren Temperatur- und Niederschlagsangaben. Selbstverständlich enthält der Agrar- und Umweltklimatologische Atlas die phänologischen Kalender aller Bayerischen Naturräume. Darüber hinaus werden eine Vielzahl von Spezialanalysen vorgestellt, wie der Stadt- oder der Geländeeinfluß oder klimatisch bedingte Langfristrends in der Vegetationsentwicklung. 16 phänologische Karten zeigen den Eintritt wichtiger Pflanzen-Entwicklungsphasen im Mittel und in Extremjahren.

Das umfangreichste Kapitel ist dem **Wasserhaushalt** des Erdbodens gewidmet. Das Wasser spielt für die Landwirtschaft und die Landespflege eine außerordentlich wichtige Rolle. Öfter als man annehmen möchte, wird es - vor allem in Nordbayern - zum vegetations-begrenzenden Faktor.

Das hier verwendete Wasserhaushaltsmodell ermittelt die täglichen Werte von potentieller und tatsächlicher Verdunstung, Abfluss, Bodenwassergehalt und Bewässerung fortlaufend über einen gegebenen Zeitraum. Grundlage der Verdunstungsberechnung ist die Gleichung nach *Penman*, die neben einem Temperatur-Feuchte-Term auch einen Strahlungsterm beinhaltet. So ist es möglich, die Verdunstung in Abhängigkeit von Inklination und Exposition, d.h. in Abhängigkeit von der Hanglage, zu berechnen. Durch Aufsummierung der Tageswerte einer bestimmten Kultur auf einer vordefinierten Bodenart können die einzelnen Wasserhaushaltselemente für Einzeljahre, für Vegetationsperioden oder als klimatologisches Mittel dargestellt werden. Im Agrar- und Umweltklimatologischen Atlas wird für die sechs ausgewählten Stationen (s. oben) der gesamte Wasserhaushalt im Jahresverlauf dargestellt.

Ein für die Landwirtschaft außerordentlich wichtiges Thema ist der Bedarf an Wasser für die Feldberegung. 15 Karten werden diesem Thema gewidmet. Dabei werden die fünf wichtigsten Beregnungskulturen behandelt.

In jüngster Zeit wächst die Befürchtung, daß der Mensch Einfluß auf das Klima der Erde nehmen könnte. Durch den Einsatz immer differenzierterer Klimamodelle wird versucht, zu klären, welche Auswirkungen anthropogene Eingriffe in das Klimageschehen haben könnten. Noch sind die wissenschaftlichen Ergebnisse über die Art und den Grad von Klimaveränderungen unsicher. Insbesondere gilt das für regionalklimatische Aspekte, wie z.B. das mögliche künftige Klima von Bayern. Dennoch wird im vorliegenden Atlas versucht, **Veränderungen im Wasserhaushalt, im Verhalten von Nutzpflanzen und ihren Schädlingen als Folge von Klimaänderungen wenigstens der Tendenz nach abzuschätzen.**

Ausgangspunkt sind hierbei die Berechnungen des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg, das mit dem Modell ECHAM-T21 das Klima der nächsten 100 Jahre simuliert hat. Von den vier Läufen des Modells, die auf unterschiedlichen Konzentrationen der Spurengase CO₂, CH₄, N₂O, FCKW und NO_x basieren, wurde im Rahmen des Bayerischen Agrar- und Umweltklimatologischen Atlas das Szenarium A ausgewählt, um Berechnungen über die Auswirkungen eines möglichen künftigen Klimas durchzuführen. Dem Szenarium A "Business as usual" wird unterstellt, daß die Spurengaskonzentrationen im selben Maße wie bisher steigen. Für das Klima Bayerns bedeutet dies eine Zunahme der Temperaturen, insbesondere zum Jahresbeginn und im Hochsommer, einen Rückgang der relativen Feuchte während der Sommermonate sowie vor allem in den Sommermonaten eine Abnahme der Niederschläge.

Die Auswirkungen auf den Wasserhaushalt sind gravierend. Die potentielle Verdunstung nimmt aufgrund der gestiegenen Temperaturen, der niedrigen relativen Luftfeuchte, der erhöhten Strahlung und der zum Teil größeren Windgeschwindigkeiten in ganz Bayern stark zu. Bei der tatsächlichen Verdunstung sind dagegen neben Zunahmen auch Abnahmen zu verzeichnen. Regenreiche Gebiete wie der Alpenrand zeigen trotz eines Rückgangs des Niederschlags Zunahmen bei der tatsächlichen Verdunstung, während der niederschlagsarme Norden Bayerns aufgrund des Niederschlagsrückgangs jedoch trotz höherer potentieller Verdunstungsraten geringere tatsächliche Verdunstungswerte aufweist. Die Höhe der Veränderungen der tatsächlichen Verdunstung hängt dabei sowohl von der Pflanzenart wie auch von der Bodenart ab. So fallen beispielsweise die Rückgänge der tatsächlichen Verdunstung um so geringer aus, je schwerer ein Boden ist.

Teilweise drastisch steigt der Wasserbedarf für die Feldberegnung. Das bedeutet, daß teilweise fast doppelt soviel Wasser für die Feldberegnung erforderlich werden würde wie heute. Es ist jedoch mehr als fraglich, ob diese Wassermengen dann überhaupt noch zur Verfügung stehen, da der Niederschlagsrückgang und die zum Teil erhöhte tatsächliche Verdunstung natürlich auch die Grundwasserneubildung verringern.

Weitere Kapitel befassen sich mit dem **Grünlandwachstum, der Spätfrostgefährdung, der Anbauwürdigkeit landwirtschaftlicher und gärtnerischer Kulturen** sowie mit dem **klimatisch bedingten Infektionsdruck wichtiger Pflanzenkrankheiten.**

Selbstverständlich geht der Atlas ausführlich auf die Zusammenhänge zwischen **Klima und Landwirtschaft** sowie auf die Problematik der **Klimaänderung** ein. Er beschreibt die Arbeitsmethoden der Klimaforscher und zeigt, wie sich **Produktion und Ertrag** bei einer Klimaänderung verhalten könnten.

Insgesamt enthält die CD-ROM 157 Graphiken, 103 Karten und 25 Tabellen. Jedes Kapitel wird dem Leser in einem ausführlichen Text erschlossen. Ein **Literaturverzeichnis** weist den Weg zur weiteren Vertiefung. Die CD-ROM läuft unter DOS, Windows und Windows 95 und enthält zusätzlich ein auf die Inhalte abgestimmtes Visualisierungsprogramm.

Literatur

Rötzer, T., Würfländer, R., Häckel, H.:
Agrar- und Umweltklimatologischer Atlas von Bayern.
Hrsg. Deutscher Wetterdienst, Weihenstephan, 1997; ISBN 3-88148-334-9

AGRARKLIMATOLOGIE ALS EDV-GESTÜTZTES AGRARMETEOROLOGISCHES INFORMATIONSSYSTEM IN DER BERATUNG DER LANDWIRTSCHAFT UND LANDSCHAFTSPLANUNG

F.-J. Löpmeier
Deutscher Wetterdienst
Geschäftsfeld Landwirtschaft, Agrarmeteorologische Forschung
Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

1 EINFÜHRUNG

Während in der Vergangenheit die „Agrarklimatologie“ im wesentlichen als flächenhafte Darstellung oder als Regionalisierung von meteorologischen und wenigen speziellen agrarmeteorologischen Parametern bearbeitet wurde, stellt die hier diskutierte Agrarklimaroutine ein stationsbezogenes und nahezu alle relevanten agrarmeteorologischen Größen umfassendes Softwaresystem dar. Von z.Zt. ca. 200 agrarmeteorologischen Parametern erfolgt einerseits auf der stündlichen Datenbasis ab dem Jahr 1960 eine automatische Erstellung von Extrem- und Mittelwerten, andererseits in der Beratungsroutine eine automatische Auswertung der aktuellen Situation in Bezug zu den langjährigen Ergebnissen. Gleichzeitig lassen sich Häufigkeiten bestimmter Konstellationen in Bezug auf langjährige Verhältnisse ermitteln.

2 ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

Die Anwendungen liegen in folgenden Bereichen:

- objektive agrarmeteorologische Bewertung der Witterungsverhältnisse im Hinblick auf die Landwirtschaft.
Da für viele landwirtschaftliche Probleme und Arbeiten keine Vorhersage- oder Bewertungsmodelle vorliegen, lassen sich über die agrarklimatologische Bewertung objektive Rückschlüsse auf notwendige Maßnahmen schließen.
- Als allgemeine Ergänzungen für die agrarmeteorologischen Beratungsangebote, wie z.B. Telefonservice- und Fax-Dienste. Extrema oder fast Extremwerte sowie Abweichungen von langjährigen Mittelwerten sind von allgemeinem Interesse in der Landwirtschaft.
- Modellkontrollen.
Bei der Modifizierung oder Neuentwicklung von agrarmeteorologischen Modellen sind auftretende Extremwerte häufig Ausreißer, die durch falsche Eingangsparameter, nicht korrekte Randbedingungen oder aber durch falsche Modellgleichungen oder Programmierfehler entstehen. Das langjährige Datenmaterial ist somit Grundlage für das Erreichen von Modellstabilitäten bei unterschiedlichen Witterungskonstellationen und sorgt für einen reibungslosen Beratungsablauf in der Routine.
- Die Ergebnisse unterstützen langfristige Planungen über Anbauwürdigkeiten bestimmter Kulturen, den Nutzen von Investitionen oder Risikoabschätzungen bestimmter Arbeitsmaßnahmen.
- Die agrarklimatologischen Ergebnisse stellen eine einfache Lösung dar, populärwissenschaftliche Veröffentlichungen interessant aufzuwerten.
- Da neben den agrarmeteorologischen Größen auch die meteorologischen Eingangsparameter in die zentrale Statistik einbezogen werden können, bietet sich die Routine auch für allgemeine klimatologische Aussagen an.

Die Anwendung der Routine setzt selbstverständlich neben den notwendigen meteorologischen Eingangsgrößen die agrarmeteorologischen Modelle z. B. aus folgenden Bereichen voraus:

- *Wasser- und Wärmehaushalt landwirtschaftlicher Flächen*
- *witterungsabhängige Pflanzenkrankheiten*
- *Bestands-, Boden- und bodennahes Mikroklima*
- *witterungsabhängige Pflanzenschutz- und Düngungsmaßnahmen*
- *Ertrag und Qualität*
- *landwirtschaftliche Arbeitsmaßnahmen wie Ernte, Grünlandschnitt etc.*

Dabei stehen die unterschiedlichen Modelle in zahlreichen Wechselwirkungen. So lassen sich die Bedingungen für Pflanzenkrankheiten oder Ernte nur bestimmen, wenn die mikroklimatischen Bedingungen oder die Blattbenetzungen in zeitlich hoch aufgelöster Form aus anderen Modellberechnungen vorliegen. Da für die Bundesrepublik angepasste Verfahren zu diesen Themen nur im DWD vorhanden

sind und auch hier nur das notwendige meteorologische und phänologische Datenmaterial aufbereitet vorliegt, ist das Geschäftsfeld Landwirtschaft für diese Arbeiten prädestiniert. Zur rationellen Anwendung stehen Routinen zur Verfügung, die eine einfache Bedienung der Programme sowie anwendungsorientierte Ausgaben und Grafikerstellung erlauben. So können unter Verwendung von Benutzermenues innerhalb von 1-2 Minuten die Häufigkeiten und Extremwerte unterschiedlicher Bedingungen bereitgestellt werden.

3 ERGEBNISSE

Die Routinen liefern u.a. folgende Auswertungen bzw. in der Beratungspraxis Hinweise zum Erreichen der Kriterien für 200 agrarmeteorologische Parameter:

- *absolutes Maximum auf Monatsbasis*
 - *absolutes Minimum auf Monatsbasis*
 - *Mittelwert auf Monatsbasis*
-
- *absolutes Maximum aller Parameter auf Tagesbasis*
 - *absolutes Minimum aller Parameter auf Tagesbasis*
-
- *Maximum aller Parameter auf Jahresbasis*
 - *Minimum aller Parameter auf Jahresbasis*
 - *Mittelwerte aller Parameter auf Jahresbasis*

Extremwerte/Mittelwerte nach verschiedenen Kriterien
Beispiele für Kriterien:

- *Anzahl Tage Bodenfeuchte*
> 90 % NFK; > 50 % NFK; > 30 % NFK; > 10 % NFK
für diverse Kulturen und Bodenarten oder
- *Anzahl Tage Bodenfrost*
> 0 cm; > 10 cm; > 20 cm; > 40 cm

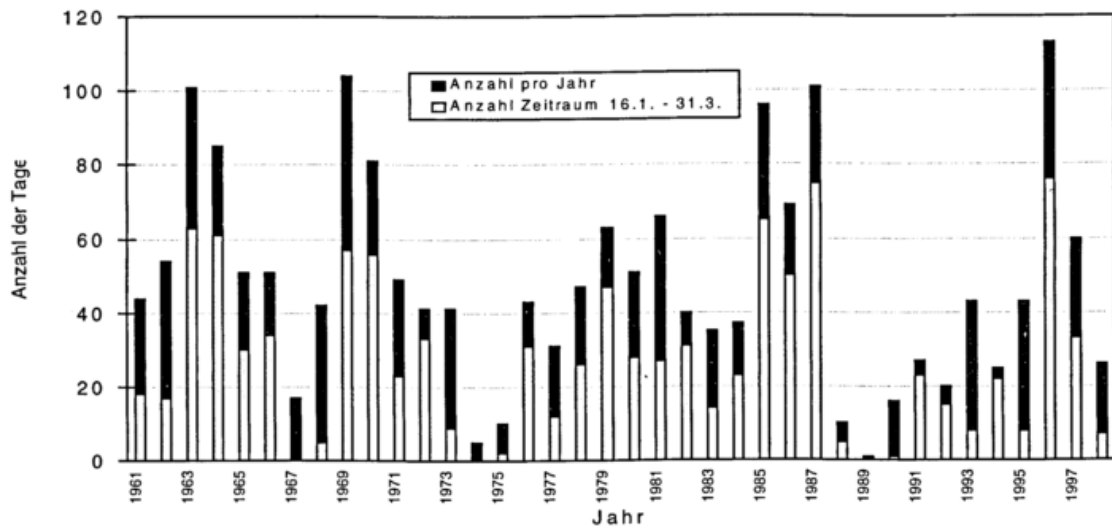
Darüber hinaus ist die Auswahl der Parameter nach frei wählbaren Kriterien und variablem Zeitraum durch Nutzer möglich (wie oft und wann treten bestimmte Konstellationen auf? Was ist der früheste/spätste Termin im Jahr?).

Beispiele:

Bodentemperaturen > 5 °C	⇒ Tage zum Pflanzen geeignet
Enthalpie > 67 KJ/kg	⇒ Häufigkeit für Warnungen an Geflügelhalter - Schutzmaßnahmen in der Masttierhaltung zu ergreifen
<i>oder Kombinationen verschiedener Kriterien</i>	
Schneehöhe < 1 cm <u>und</u> Erdbodenminimierung < -10 °C / < -20 °C	⇒ Gefährdung durch Frostschäden
Bodenfrost > 15 cm <u>oder</u> Schnee <u>oder</u> Stauwasser	⇒ Anzahl Tage mit Verbot, Gülle auszubringen (Planung der Größe von Güllebehältern)
Bodenfeuchte > 90 % <u>oder</u> Bodenfrost > 5 cm im Oktober/November	⇒ Häufigkeit der extremen Behinderung der Rüben-Kartoffelernte (Abschätzung der Ausgleichszahlungen für Spätablieferer)
Bodenfeuchte < 50 % <u>und</u> phänologisches Stadium < Milchreife - für diverse Kulturen und unterschiedliche Bodenarten	⇒ Abschätzung für Wasserstreßhäufigkeiten
Heufeuchte > 80 % TM <u>und</u> Ertrag > 40 dt/ha <u>und</u> Rohfasergehalt > 23 %	⇒ Häufigkeiten für optimale Heugewinnung
Blattbenetzung <u>und</u> Bestandstemperaturen > 10 °C/15 °C <u>und</u> phänologisches Stadium < Ährenschieben	⇒ Abschätzung optimaler Bedingungen diverser Pflanzenkrankheiten

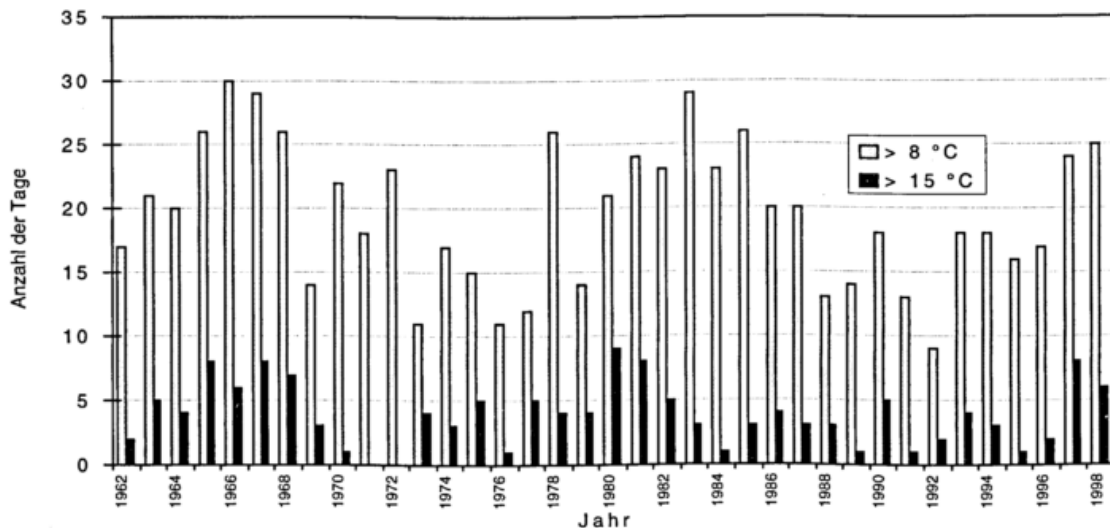
Als Beispiel zeigt die folgende Abbildung die berechneten Ergebnisse mit Bedingungen, wie sie nach der Gülleverordnung das Ausbringen von Gülle ab dem 15. Januar verbieten. Über zusätzliche Hintergrundinformationen, wie maximale Andauer der Bedingungen etc., lassen sich Planungen, z.B. zur Größe der Güllebehälter, ableiten.

**Anzahl Tage mit Bodenfrost > 15cm, mit Schneedecke oder Stauwasser an der Erdoberfläche
Zeitraum 1961-1998, Braunschweig**



Die folgende Abbildung charakterisiert beispielhaft die kombinierte Bedingung Blattbenetzung und Temperaturen über bestimmte Schwellenwerte, wie sie für unterschiedliche Pflanzenkrankheiten von Bedeutung sind. Über die Wahl beliebiger Andauerzeiten der Blattbenetzung und verschiedener Temperaturen, bzw. Temperaturintervalle oder der zusätzlichen Aufnahme eines Grenzwertes für die relative Feuchte, lassen sich für beliebige Pflanzenkrankheiten die Häufigkeit optimaler oder ungünstiger Witterungskonstellationen bestimmen.

**Anzahl Tage mit mehr als 10 Std. Blattbenetzung und Tagesmitteltemperatur > 8 bzw. 15°C
Zeitraum April-Juni, Braunschweig**



4 AUSBLICK

Zur Zeit liegen die Ergebnisse für einige repräsentative Stationen aus unterschiedlichen Regionen Deutschlands vor. Geplant sind die Berechnungen und Auswertungen für weitere Standorte zur Verbesserung der räumlichen Auflösung. Da die Grundlage synoptische Daten sind, könnte die Anwendung der Software auch für Regionen außerhalb der Bundesrepublik erfolgen, wobei die Bereitstellung der landwirtschaftlichen und phänologischen Randbedingungen nicht als unproblematisch anzusehen ist.

Die Neuauflage der Weinbaustandortkarte im Rheingau im Maßstab 1 : 25000

D. Hoppmann

Deutscher Wetterdienst, GF Landwirtschaft, AST Geisenheim, Kreuzweg 25, D - 65366 Geisenheim,

ZUSAMMENFASSUNG

Die neue Standortkarte des Rheingaus im Maßstab 1: 25000 bietet die fachliche Grundlage, die Rebflächen im Hinblick auf klimatische und bodenkundliche Verhältnisse zu charakterisieren. Sie bieten Entscheidungshilfen bezüglich Rebsortenwahl einschließlich -unterlage, Bodenpflege und Begrünnungsmanagement. Mit den Detailkenntnissen über Klima und Boden im Rheingau lassen sich auch quantitativ abgesicherte Einflüsse auf das Mostgewicht ableiten. Die geländeklimatischen und bodenkundlichen Verhältnisse werden für jeden Gitterpunkt in einem geographischen Informationssystem (GIS) in einer räumlichen Auflösung von 20 x 20 m dargestellt. Die Neuauflage wurde mit Mitteln des Hessischen Innenministers gefördert.

1. EINLEITUNG

Um eine optimale Anpassung der Rebsorten und -unterlagen an den Standort zu gewährleisten, begann man bereits 1947 mit der bodenkundlichen Kartierung der Weinbaugebiete Rheingau und Hessische Bergstraße. Neben den durchgeführten Bodenkartierungen waren die Karten zum Geländeklima mit der Strahlung, Frost-, und Windgefährdung wesentliche Bestandteile der ersten Auflage des Standortatlases der Hessischen Weinbaugebiete.

Im Rahmen der Flurbereinigung hat man Kleinterrassen in Direktzuglagen umgewandelt mit der Folge, daß in den letzten Jahrzehnten vermehrt Erosionsschäden aufgetreten sind. Durch eine gezielte Begrünung der Rebhänge kann man die Erosionsgefahr eindämmen. Der Anteil begrünter Rebflächen hat sich deshalb in der letzten Dekade drastisch erhöht. Infolge des erhöhten Wasserbedarfs machte sich in den vergangenen Trockenjahren ein vermehrter Trockenstreß bei den Reben mit Qualitätsverlusten bei den Trauben bemerkbar.

Bei der Neuauflage des Standortatlases standen deshalb vor allem Fragen des Wasserhaushaltes, der Umweltverträglichkeit des Weinbaus und der Einfluß des Standortes auf die Qualitätsbildung im Vordergrund. Daneben sollten im Zuge einer Weiterentwicklung der Standortkarte die Ergebnisse der Standortforschung mit dem Einsatz eines geographischen Informationssystems (GIS) miteinander verknüpft und als Beratungsunterlage für die Praxis bereitgestellt werden. Die Karte enthält folgende Themen:

- Strahlung
- Wind- und Frostgefährdung
- Trockenstreßrisiko der Reben
- Nutzbare Feldkapazität (nFK)
- Erosionsgefährdung
- Nitratauswaschungsgefährdung
- Potentielles Mostgewicht

Die kartenmäßige Darstellung der genannten Themen sind das Ergebnis neuer Erkenntnisse in der Standortforschung, der Entwicklung von Modellen für den Wasser- und Nitrathaushalt begrünter und offen gehaltener Rebflächen sowie Untersuchungen zum Oberflächenabfluß in Rebhängen.

Mit den Detailkenntnissen über Klima und Boden im Rheingau lassen sich quantitativ abgesicherte Einflüsse auf das Mostgewicht und die Säure ableiten. Die Zusammenhänge ermöglichen die räumliche Darstellung des potentiellen Mostgewichtes.

2. METHODEN

Eine Schlüsselrolle in der geländeklimatischen Differenzierung nimmt die direkte Sonneneinstrahlung ein. Die Sonneneinstrahlung bestimmt, wieviel Wärme einem Rebhang aufgrund seiner Neigung und Exposition zugestrahlt wird. Die direkte Sonneneinstrahlung läßt sich für jeden Geländepunkt mit den Angaben zur Exposition und Neigung aus den stündlichen Daten der Sonnenscheindauer berechnen. Die Trübungswerte werden als klimatologische Monatsmittelwerte vorgegeben. Aus den Stunden-summen der direkten Sonneneinstrahlung können Tageswerte, Dekadenwerte und Summen über phänologische Entwicklungsabschnitte gebildet werden. Wind- und Frostgefährdung wurden der alten

Standortkarte von 1967 entnommen. Sie basieren auf den Ergebnissen eines temporären Meßnetzes im Rheingau.

Um die flächenhafte Darstellung des Trockenstreßrisikos zu gewährleisten, müssen die Niederschlagsmenge und -verteilung die aktuelle Verdunstung und die nutzbare Feldkapazität bekannt sein. Die Grundlage für die Berechnung des Wasserhaushaltes in begrüntem und offenen Weinbergen ist ein auf Rebanlagen angepaßtes Bodenfeuchtesimulationsmodell, das auf einer Vielzahl von Standorten unter verschiedenen Bodenverhältnissen im Rheingau erprobt wurde (HÜSTER, 1993). Es kann die Wahrscheinlichkeit für die Häufigkeit der Unterschreitung eines definierten Restwassergehaltes errechnet werden. Für die Bewertung des Trockenstreßrisikos wird die Zeitspanne Blüte bis 40 Tage nach der Blüte betrachtet, weil die Reben in dieser Zeit mehr Wasser beanspruchen. Wenn der mittlere Wassergehalt im Boden in dieser Zeit 40 mm unterschreitet, so führt dieser Restwassergehalt zu Trockenstreß.

Die für die Validierung des Mostgewichtsmodells erforderlichen Grunddaten bilden Erhebungsuntersuchungen über den Zeitraum 1960 bis 1984 (HOPPMANN 1988). Für insgesamt 123 Testparzellen liegen diese Daten vor, die zu Beginn der Hauptlese erhoben werden. Die Validierung der Einflüsse von Klima und Boden auf das Mostgewicht erfolgt über ein Regressionsmodell aus dem BMDP - Statistikprogrammpaket.). Die geländeklimatischen Verhältnisse werden mit Hilfe von Modellen aus den Grunddaten des Klimameßnetzes und der topographischen Datenbank abgeleitet.

Die Methoden für die Darstellung der Erosions- und der potentiellen Nitratauswaschungsgefährdung wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes zum Nitrathaushalt erarbeitet (SCHALLER et al 1994). Die Basis für die neu entwickelte Karte der nutzbaren Feldkapazität (nFK) bilden bodenkundliche Kartierungen des Rheingaus im Maßstab 1:5000. Daraus leitete ZIMMER 1996 eine Schätzfunktion für die nFK-Werte ab, die auf ca 60 Standorte validiert wurde. Die Ergebnisse können in dieser Kurzfassung nicht dargestellt werden.<

3. ERGEBNISSE

Die Hessischen Weinbaugebiete zeigen ein Niederschlagsspektrum, wie wir es auch in anderen Weinbaugebieten vorfinden. Der Raum Geisenheim gehört zu den trockensten Gebieten in Deutschland mit einer durchschnittlichen Jahressumme von 548 mm. Nach Osten und Westen steigen die Niederschläge auf 595 mm (Hochheim) bzw. 604 mm (Lorch) an. Die Zunahme mit der Höhe beträgt

ca 50-70 mm auf 100 m. In der mittleren klimatischen Wasserbilanz zeigt der Rheingau deutlich negative Werte. Die Berechnungen ergeben nach HÜSTER 1993 für Geisenheim -113 mm für offengehaltene und -258 mm für begrünte Rebhänge. Nimmt man die aktuelle Verdunstung, so reduziert sich die aktuelle Wasserbilanz auf -27 mm und bei Anlagen mit Begrünung auf -71 mm pro Vegetationszeit. Nicht der Mittelwert in der klimatischen Wasserbilanz ist entscheidend, sondern die Häufigkeit von Jahren, in denen das Wasserangebot unter einen Schwellenwert gerät, der dann möglicherweise Qualitäts- und Ertragseinbußen auslöst. Für die Bewertung der einzelnen Stufen des Trockenstreßrisikos (Tab. 1) sind neben der nFK die Hangneigung und Exposition entscheidend. Die tiefgründigen Böden der nFK-Klasse > 200 mm weisen das geringste Risiko für den Trockenstreß auf, in den Steillagen mit geringen Bodenmächtigkeiten steigt die Zahl der Jahre mit Trockenstreß auf über 20 an.

Tab. 1 Anzahl der Jahre mit Trockenstreß (Restwassergehalt \leq 40 mm) für den Zeitraum 40 Tage nach der Blüte für verschiedene nutzbare Feldkapazitäten u. Expositionen (Geisenheim 1961 - 1990)

Gebiet: Geisenheim					
nutzbare Feldkapazität in mm		Exposition; Neigung in Grad	Restwassergehalt: \leq 40 mm		
		Ebene	Süd	Südwest	West
< 100	0	21	---	---	---
	< 10	---	21	21	20
	10 - 20	---	22	22	20
	> 20	---	22	22	20
100 - 150	0	21	---	---	---
	< 10	---	21	21	20
	10 - 20	---	22	22	20
	> 20	---	22	22	20
150 - 200	0	10	---	---	---
	< 10	---	11	11	10
	10 - 20	---	14	12	10
	> 20	---	14	14	9
> 200	0	4	---	---	---
	< 10	---	6	6	4
	10 - 20	---	8	6	4
	> 20	---	9	9	4

Die nächtlichen Temperaturminima, die Temperatur der hellen Tagesphase, Verdunstung und Wasserbilanz in den phänologischen Zeitspannen sowie die nFK - Werte bilden die Eingangsgrößen für das Mostgewichtsmodell. Die Tab.3 erklärt die Einflüsse der Standortvariablen, die in der statistischen Analyse signifikant sind. Bei den für alle Standorte durchgeführten Berechnungen entfallen 51% auf die Tagesmitteltemperatur der hellen Tagesphase während der Reifezeit, 15% auf das pflan-

zenverfügbare Bodenwasser (nFK), 5,3% auf das nächtliche Temperaturminimum von der Vollblüte bis Reifebeginn und 4,2% auf die Verdunstung vom Austrieb bis zur Vollblüte.

Tab. 3 Ergebnis der Regression der Standortschwankungen des mittl. Mostgewichtes (123 Parz.) im Rheingau

Einflußgröße	Einzelkorrelat.	F - Wert	Regress-koeff.	Zuwachs Einfluß	P - Wert
Mitteltemperatur der hellen Tagesphase (Reifebeginn - Lese)	0.714	158.03	4.641	51.0%	0.001
Pflanzenverfügbares Bodenwasser (Standortkarte)	0.508	53.83	0.0394	15.5%	0.001
Nächtliches Temperaturminimum (Vollblüte - Reifebeginn)	-0.328	33.09	-5.244	5.3%	0.001
Potent. Verdunstung (Austrieb - Blüte)	0.309	20.63	20.034	4.2%	0.001
Gesamtes Bestimmtheitsmaß					76.0%
Bemerkung	Die Einflußgrößen sind dann signifikant, wenn der P - Wert < 0.05 wird				

Insgesamt können mit dem Mostgewichtsmodell 76% der gesamten Schwankung der Mostgewichtsmittel von den untersuchten Standorten erklärt werden.

Die Karte des potentiellen Mostgewichtes für den Rheingau besteht aus sieben Einzelblättern im Maßstab 1: 25000.

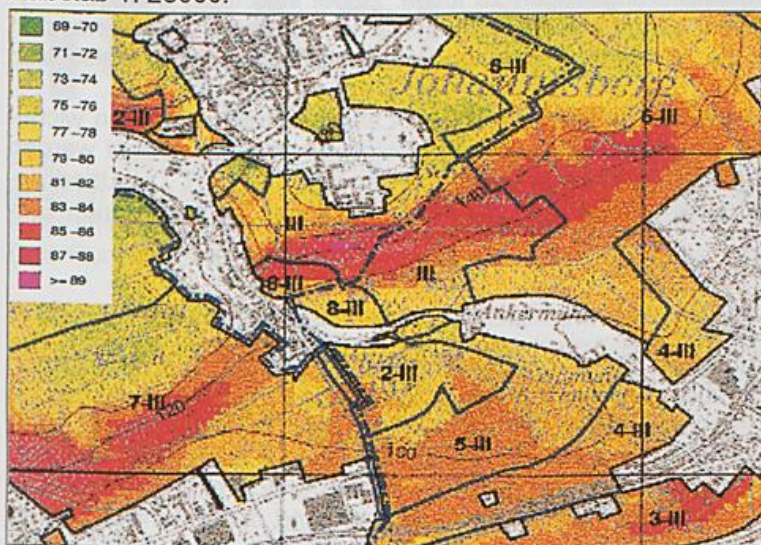


Abb. 1 Darstellung des potentiellen Mostgewichtes im Raum Geisenheim-Johannisberg.

Die Abb. 1 veranschaulicht als Beispiel die Mostgewichtsstufen im Raum Geisenheim - Johannisberg. Die Flächen werden in 11 Stufen klassifiziert, wobei eine Stufe jeweils eine Klassenbreite von 2° Oechsle aufweist. Rot eingefärbte Bereiche sind Flächen mit sehr hohen Qualitäten, Flächen mit gelben Tönen sind gute Qualitäten, helle Grüntöne sind ausschließlich für frühreifende Rebsorten geeignet. Das Mostgewicht bestimmt nicht allein die Qualität, sondern Geschmack und Inhaltsstoffe des Weins werden innerhalb der verschiedenen Bereiche auch von der Bewirtschaftung der Rebflächen und der Kellertechnik bestimmt.

Der Rheingau ist das erste Weinbaugebiet der Welt, das auf der Basis wissenschaftlich begründeter

Unterlagen klassifiziert wird. Die Karte bestätigt in eindrucksvoller Weise, daß der Rheingau im Hinblick auf Klima und Boden eine Spitzenstellung im Weinbau einnimmt. So kann auf 50 % der Rebfläche im 30 - jährigen Durchschnitt ein Mostgewicht von mehr als 80 ° Oechsle erzielt werden und nur 14 % der Rebfläche erzielen potentiell weniger als 75 ° Oechsle.

4. LITERATUR

HOPPMANN, D., 1988: Der Einfluß von Jahreswitterung und Standort auf die Mostgewichte der Rebsorten Riesling und Müller-Thurgau (*Vitis vinifera* L.), Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 176, Offenbach, Selbstverlag, 213 S.

HÜSTER, H., 1993: A long-term simulation of the soil water budget in tilled and grass covered vineyards. Die Wein-Wissenschaft 43, 147-160

SCHALLER, K.; JAGOUTZ H.; BERTHOLD, G.; EMDE, K.; LÖHNERTZ, O. und HOPPMANN, D. 1994: Bewirtschaftungssystem und Nitratbildung in Rebflächen. Geisenheimer Berichte Band 16 a und 16 b Veröffentlichungen der Forschungsanstalt Geisenheim.

ZIMMER, G., 1996: Möglichkeiten zur flächendeckenden Abschätzung der nutzbaren Feldkapazität (NFK) als wichtige Größe zur Ermittlung der Begrünungseignung von Weinbergen. Tagungsband des

METEOROLOGISCHE ASPEKTE DES WASSER- UND KOHLENSTOFFHAUSHALTES AUF LANDSCHAFTSEBENE

Christian Bernhofer
Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie
Pienner Str. 9, 01737 Tharandt

ZUSAMMENFASSUNG

Haushaltsüberlegungen sind durch die klare Festlegung von Systemgrenzen gekennzeichnet. In der Hydrologie werden Wassereinzugsgebiete festgelegt, in der Mikrometeorologie horizontale Referenzflächen über homogenen Landoberflächen definiert. Mit dieser Abgrenzung ist es möglich, die Gesetze der Energie- und Massenerhaltung zur Betrachtung heranzuziehen. Das geschieht etwa zur Plausibilitätskontrolle von Flußmessungen (Stichwort „Schließungslücke“) oder zur Bestimmung der Verdunstung nach der hydrographischen Methode.

Landschaften sind dagegen nicht ohne weiteres als abgegrenzte Einheit untersuchbar, obwohl sie als Gebiete mit eigenständiger Charakteristik empfunden werden: Systemgrenzen sind fließend, Meß- und Modellierungsstrategien undefiniert, Skalierungsfragen zu lösen. Dabei sind insb. Biologen, Hydrologen, Meteorologen und Geographen gefordert, die sich zunächst auf einen gemeinsamen Sprachgebrauch einigen müssen, bevor die notwendige inter- und multidisziplinäre Arbeitsweise sich mit ihrer Methodenvielfalt etablieren kann.

Am komplexen Beispiel des Wasser- und Kohlenstoffhaushaltes auf Landschaftsebene werden wichtige meteorologische Aspekte des Problemkreises besprochen und Beispiele erläutert. Dabei werden Messungen und Modellbildung gleichberechtigt in einen systemischen Ansatz integriert. Die Übertragbarkeit in einer sich ständig ändernden dynamischen Welt mit ihren vielfältigen anthropogenen Einflüssen wird hinterfragt.

1 EINLEITUNG

Systeme – z.B. das Klimasystem – können u.a. durch ihre Systemgrenzen, sowie durch die internen und externen Flüsse im System beschrieben werden. Landschaften werden zwar als systemische Einheiten empfunden, nehmen aber eine eigentümliche Zwischenstellung ein: Sie bestehen aus zahlreichen, relativ kleinräumigen Untereinheiten (wie sie in der Mikrometeorologie untersucht werden), aus Wassereinzugsgebieten (als Gegenständen der Hydrologie) und sind gleichzeitig Teil größerer Einheiten (große Flußeinzugsgebiete, Kontinente). Landschaftsfunktionen sind daher schwer quantitativ zugänglich. Auf Landschaftsebene sind die Wechselwirkungen von Biosphäre und Atmosphäre, z.B. das lokale Rezirkulieren von Niederschlag, besonders ausgeprägt. Womit die Rolle der Biometeorologie für das Verständnis der atmosphärischen Prozesse unterstrichen wird. Insbesondere adequate Methoden der Skalierung vom Punkt in die Fläche fehlen weitgehend.

Als klassisches Beispiel wird das Wassereinzugsgebiet behandelt, hier werden typischerweise nur die ober- und unterirdischen Flüsse durch die Wasserscheiden behandelt, das System läßt sich durch die Haushaltsgleichung:

$$P = R + \Delta S + E \quad (1),$$

mit P Niederschlag, R , Abfluß, ΔS Speicheränderung im Einzugsgebiet (bspw. Bodenfeuchteänderung), und E , Verdunstung beschreiben. Diese Konzept hat sich in der Realität bewährt: hydrographische Verdunstungsbestimmung, (forst)hydrologische Zwillingsexperimente, Nutzung der Wassermengenanalyse aus Einzugsgebieten zur Ermittlung von Stoffflüsse ("Wasserkreislauf als Träger des Stoffkreislaufs") zeugen davon.

2 METHODIK

In der Meteorologie hat sich ein ähnliches Konzept durchgesetzt, das die Energie- und Stoffflüsse für homogene, hinlänglich ausgedehnte Teilflächen der Erdoberfläche meßbar und auch modellierbar macht. Als Beispiel wird die Energiebilanzgleichung an der Erdoberfläche herangezogen:

$$R_n - G - \Sigma J - Ph + M = H + LE \quad (2),$$

mit R_n , Strahlungsbilanz, G , Bodenwärmestrom, ΣJ , Summe der Wärmeströme durch Speicherung im Bestand, H fühlbarer und LE latenter Wärmestrom. Die Bindung von Energie durch Photosynthese Ph und ihre Freisetzung bei der Atmung M kann praktisch immer vernachlässigt werden. Ähnliche Haushaltsgleichungen lassen sich für Wasser, Kohlenstoff etc. formulieren. Eine typische Meßkonfiguration ist in Abb. 1 angegeben.

Die Rolle der Systemgrenzen übernehmen dabei horizontale Bezugsflächen, typischerweise in der Höhe der Flußmessungen am Turm und dem Übergang zum Grundwasser. Daher müssen laterale Flüsse vernachlässigbar sein, die Voraussetzung: homogen, eben und "unendlich" ("ideal site") muß erfüllt werden. In Landschaften mit großräumigen Untereinheiten ist die Aggregation dieser homogenen Untereinheiten zu heterogenen Gesamtheiten ohne großen Fehler möglich. Damit sind skalenübergreifende Meßverfahren, wie in Abb. 2 angegeben, möglich.

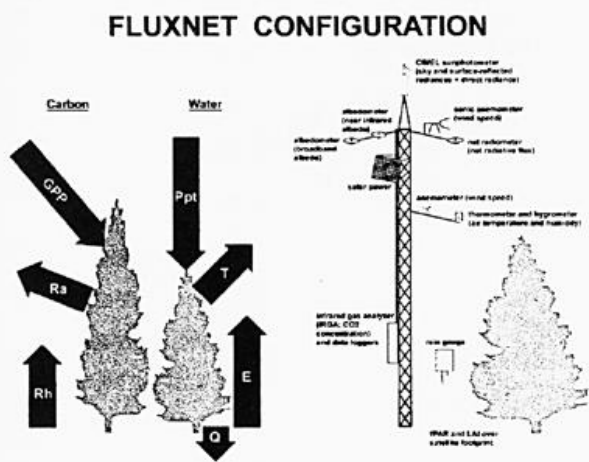


Abb. 1. Mikrometeorologische Beispielskonfiguration zur Messung von Wasser- und Kohlenstoffflüssen über homogenen Beständen (aus Running et al., 1999)

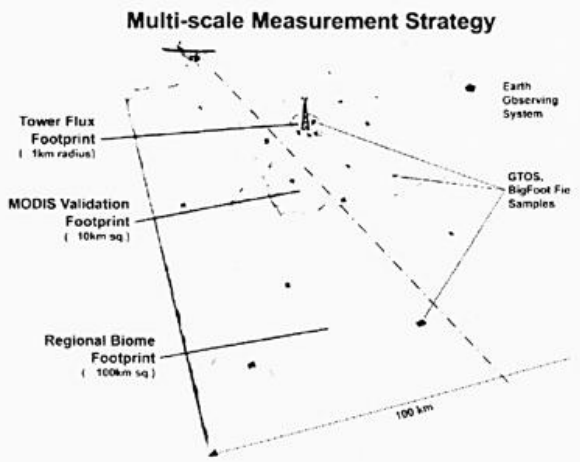
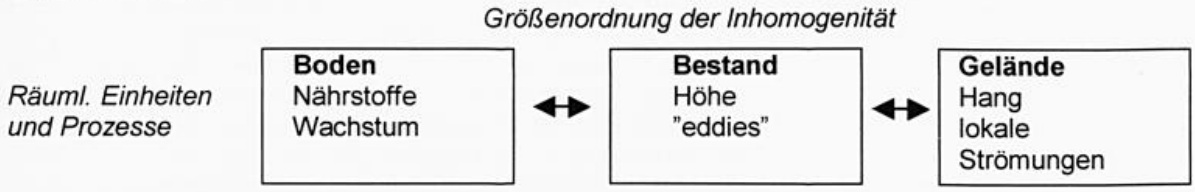


Abb. 2. Meßstrategie zur Messung von Wasser- und Kohlenstoffflüssen über inhomogenen, großteiligen Landschaften (aus Running et al., 1999)

In kleinteiligen Landschaften, wie in Mitteleuropa, sind größere, homogene Flächen dagegen die Ausnahme. Eine einfache Übertragung dieses Konzeptes birgt das Risiko, dass wenige Einzelstandorte auf zahlreiche kleine Einheiten übertragen und damit überbewertet werden, während Randeffekte die Gesamtflüsse auf Landschaftsebene dominieren. In realen Landschaften haben wir es mit zahlreichen Inhomogenitäten zu tun, die auf verschiedenen Skalen auftreten:



Die Methoden, diese Inhomogenitäten zu überwinden, sind so verschieden, wie die Disziplinen, die sie entwickelt haben: Bodenhydrologie und Wurzelbiologie arbeiten im cm-Bereich, Mikrometeorologie und Ökophysiologie im 100m-Bereich, Mesoklimatologie und Einzugsgebietshydrologie im 10km-Bereich. Dabei definiert jede Disziplin eine disziplintypische Mikro- und Makroskala, die miteinander wenig zu tun haben: Sie definieren nur jeweils die Grenze zu dem Bereich, in dem die Methoden der Einzeldisziplin nicht erprobt sind oder gar versagen.

3 ERGEBNISSE

Die oben angeführten Energie- und Massenhaushalte bieten jedoch eine hervorragende Überprüfungsmöglichkeit für noch zu entwickelnde Aggregierungsmethoden. Insbesondere der Wasserhaushalt läßt sich auf zahlreichen Skalen unabhängig bestimmen und so als Indikator für die Qualität des gewählten Aggregierungsansatzes heranziehen. In Abb. 3 ist als Beispiel der Vergleich zweier Verdunstungskurven für eine Wasserhaushaltsjahr angegeben: Eine mikrometeorologisch bestimmte Verdunstung (repräsentative Fläche ca. 1 km²) im 60 km² großen Tharandter Wald nahe Dresden und die klassisch mit der hydrographischen Methode bestimmte Verdunstung des Einzugsgebietes Wernersbach (4,6 km²), das sich vom Meßturm über 6 km entfernt befindet. Die Kurven zeigen eine bemerkenswerte Übereinstimmung (Differenz über 12 Monate = 1 mm Wassersäule), sowie die Austrocknungsphase im Sommer, der eine Wiederbefeuchtung im Herbst folgt. Voraussetzung dieser guten Übereinstimmung sind jedoch vergleichbare Bedingungen (Boden, Vegetation, Topographie) und

große, homogene Untereinheiten. In Umkehrung lassen sich aus Differenzen, die sich zwischen Meßmethoden auf unterschiedlicher Skala ergeben, Rückschlüsse auf die Bedeutung der Heterogenität ziehen.

Ein anderes Beispiel ist die sogenannte Schließungslücke der Energiebilanz (die unabhängig bestimmte rechte Seite von Gl. (2) erreicht unter bestimmten Bedingungen den Wert der rechten Seite nicht): Diese Schließungslücke scheint die Größe der nicht-turbulenten Transporte aufgrund von Oberflächen- und Geländeinhomogenitäten anzugeben. Wenn es also gelingt, die turbulenten Energieflüsse über Landschaftselementen mit ausreichender Genauigkeit zu messen, können aus der Differenz zur Strahlungsbilanz (und den Speichertermen) die Beiträge der Heterogenität der Landschaft zum Energiefluß abgeschätzt werden.

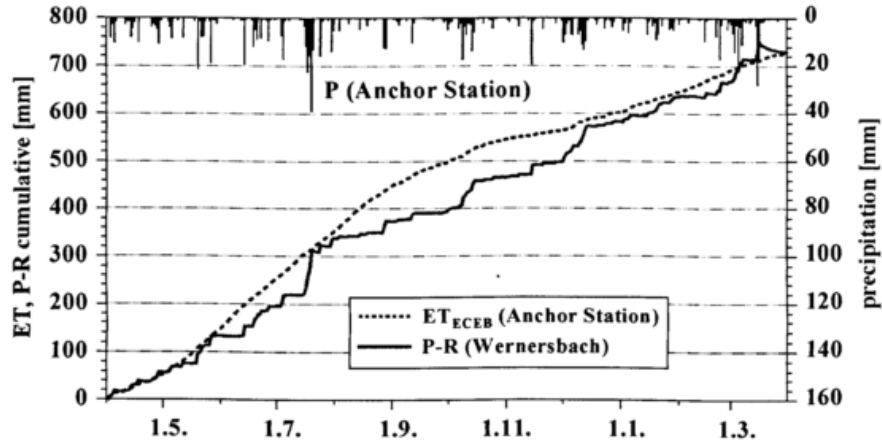


Abb. 3. Hydrologische Bilanz (Niederschlag - Abfluß) 1.4.97 - 31.3.98 Einzugsgebiet Wernersbach und ECEB-Verdunstung Ankerstation Tharandter Wald, Tageswerte kumulativ aufgetragen (aus FRÜHAUF et al., 1998).

4 SCHLUßFOLGERUNG UND AUSBLICK

Die Frage, ob solche Haushaltsbetrachtungen auf die Landschaft übertragbar sind, ist damit noch nicht beantwortet. Der Mangel klarer Grenzen, die zahlreichen Inhomogenitäten auf allen Skalen und die komplexe Topographie machen einen **Methodenmix** in den Experimenten und Modellen notwendig. Es ist gleichzeitig zu erwarten, dass z.B. Einzugsgebiete aufgrund ihrer räumlichen Integration oder die Fernerkundung aufgrund ihrer flächenorientierten Methodik in der Meteorologie von Landschaften eine neue, größere Rolle spielen werden. Für die adequate Berücksichtigung der biologischen Rückkoppelung der Atmosphäre (Goldberg, 1998) ist eine entsprechende Integration der ökophysiologischen Prozesse notwendig. Gleichberechtigt wichtig ist die Entwicklung von Modellen, für die eine ebensolche Methodenvielfalt benötigt wird, die eine Abbildung vom Blatt bis zur Landschaft erlaubt:



LITERATUR

Goldberg, V., 1998: Abschätzung der Bedeutung von Koppelungsprozessen zwischen Vegetation und Atmosphäre für die Verdunstung – Ergebnisse des Modells HIRVAC. *Annalen der Meteorologie* 37, 1, 247-248.

Running, S.W. Baldocchi, D. D., Turner, D.P., Gower, S.T., Bakwin, P. S. und K. A. Hibbard (1999): A global terrestrial monitoring network: Integrating tower fluxes, flask sampling, ecosystem modeling and EOS satellite data. *Remote Sensing of Environment*. Special Issue on „Global Terrestrial Validation“, in print.

Frühauf, C., Zimmermann, L. and Ch. Bernhofer, 1998: Comparison of forest evapotranspiration from ECEB measurements over a forest Spruce stand with the water budget of a catchment. *Physics and Chemistry of the Earth* (angenommen)

Danksagung: Dieser Beitrag wurde von der DFG im Rahmen der Sachbeihilfe BE 1721/2-1 gefördert.

MONITORING VON TROCKENPERIODEN MITTELS EINES ENERGIEBILANZ-MODELLS BASIEREND AUF SYNOPTISCHEN UND FERNERKUNDUNGSDATEN

Stefan Niemeyer

Space Applications Institute, Joint Research Centre of the European Commission
TP 950, I-21020 Ispra (VA), Italy

Tel.: +39-0332-785455, Fax: +39-0332-785500, e-mail: stefan.niemeyer@jrc.it

ZUSAMMENFASSUNG

Der aktuelle Feuchtezustand der Landoberfläche in Sizilien wird mit Hilfe der "evaporative fraction" beschrieben. Dazu wurde ein Energiebilanzmodell erstellt, daß die Aufteilung der verfügbaren Energie in die turbulenten Ströme fühlbarer und latenter Wärme beschreibt. Die Abschätzung der täglichen realen Verdunstung unter Verwendung der "evaporative fraction" ergibt, verglichen mit Standardmethoden, realistische Größenordnungen. Dabei wird durch die Verwendung von täglichen Fernerkundungsdaten die räumliche Auflösung sowohl der Bestimmung des lokalen Wassermangels als auch der Verdunstungsabschätzung erheblich verbessert.

1 EINLEITUNG

In verschiedenen Regionen Europas traten im letzten Jahrzehnt lang anhaltende Dürreperioden auf, insbesondere im Mittelmeerraum wie zum Beispiel in Spanien 1992 bis 1995 und in Italien 1988 bis 1989 (Rossi et al. 1995). Dies zeigt die Notwendigkeit, angemessene Methoden zur Beobachtung solcher naturräumlicher Phänomene zu entwickeln. Fernerkundungsdaten weisen dazu deutliche Vorteile hinsichtlich der räumlichen Auflösung und der Wiederholungsrate der flächenhaften Beobachtung größerer Regionen auf. Die begrenzte Verfügbarkeit langer Zeitreihen sowie die nur indirekte Beobachtung relevanter Parameter erweisen sich jedoch als nachteilig. So kann es eine erfolgreiche Anwendung von Fernerkundungsdaten nur in der Kombination mit konventionellen synoptischen Daten geben. In dieser Arbeit wurde die süditalienische Region Sizilien als exemplarisches Testgebiet ausgewählt.

Die grundlegenden Kennzeichen einer Dürre können mit Hilfe des Wasserhaushalts oder der Energiebilanz charakterisiert werden. Die Energiehaushaltsgleichung beschreibt dabei die Aufteilung der zur Verfügung stehenden Energie in die turbulenten Ströme fühlbarer und latenter Wärme; letzterer Energiestrom ist proportional zur Verdunstung der Landoberfläche. Diese Aufteilung kann mit Hilfe sogenannter "flux ratios" (Quotienten von Energieflüssen) beschrieben werden, von denen sich die "evaporative fraction" als geeignetste erwiesen hat (z.B. Brutsaert und Sugita 1992, Crago 1996). Die "evaporative fraction" bildet denjenigen Anteil an der verfügbaren Energie, der für die Evapotranspiration verwendet wird. Steht genügend Wasser zur Verfügung, wird die aus der Strahlungsbilanz zur Verfügung stehende Energie zur Verdunstung genutzt - die "evaporative fraction" ist nahe eins. Bei Wassermangel wird alle Energie in den fühlbaren Wärmestrom geleitet, so daß die "evaporative fraction" gegen Null geht.

Zur Ermittlung von Perioden mit Wassermangel und -streß wurden für die Testregion Sizilien verschiedenartige Daten kombiniert: Erstens tägliche Rasterdaten des NOAA AVHRR Sensors mit ihrer nominalen räumlichen Auflösung von 1.1km x 1.1km, zweitens Punktmessungen der synoptischen Stationen mit Tageswerten der wichtigsten meteorologischen Parameter, und drittens zeitinvariante Daten der europäischen CORINE Landnutzungsklassifikation (CORINE 1993) zur Ableitung von Oberflächencharakteristika. Es wurden ausschließlich operationell zur Verfügung stehende Datensätze verwendet, so daß die Methode jederzeit auf andere Regionen in Europa übertragbar ist.

2 METHODIK

Die Energiehaushaltsgleichung wird täglich als momentaner Wert für ganz Sizilien berechnet. Der Index i steht für momentane Werte (instantaneous), d für Tageswerte (daily). Im ersten Schritt werden die verfügbare Energie ($R_{net} - G$) _{i} und der fühlbare Wärmestrom (H) _{i} unabhängig voneinander berechnet. In nächsten Schritt wird der Strom latenter Wärme (λET) _{i} als Residuum der Bilanzgleichung bestimmt (in Wm^{-2}):

$$\lambda ET = (R_{net} - G)_i - H_i \quad (1)$$

Der momentane Bodenwärmestrom G_i wurde in Abhängigkeit vom Vegetationsindex NDVI als prozentualer Anteil an der Strahlungsbilanz abgeschätzt (Choudhury 1987). Der turbulente Strom fühlbarer Wärme (H_i) ist das Produkt der Differenz zwischen Oberflächen- (T_s) und Lufttemperatur (T_a) sowie eines Austauschterms in Form des aerodynamischen Widerstandes r_a (in Wm^{-2}):

$$H_i = c_p * \rho_{air} / r_a * (T_s - T_a)_i \quad (2)$$

mit c_p = spezifische Wärme und ρ_{air} = Dichte der Luft. Dem Unterschied zwischen der bekannten radiometrischen Oberflächentemperatur und der eigentlich zu verwendenden, exakten aerodynamischen Oberflächentemperatur wird in der Formulierung des aerodynamischen Widerstandes (r_a) Rechnung getragen. Dazu wurde die Rauigkeitslänge für Wärme (z_{0h}) eingeführt, die von der Rauigkeitslänge für Impuls (z_{0m}) zu unterscheiden ist (in sm^{-1}):

$$r_a = \frac{\left[\ln\left(\frac{z_m - d}{z_{0m}}\right) - \psi_m \right] * \left[\ln\left(\frac{z_h - d}{z_{0h}}\right) - \psi_h \right]}{k^2 * u} \quad (3)$$

wobei d für die Verschiebungshöhe, k für die von-Kármán Konstante, $z_{m,h}$ für die Beobachtungshöhen, u für die Windgeschwindigkeit und $\psi_{m,h}$ für die Stabilitätskorrektur steht. So kann schließlich die "evaporative fraction" (EF) ausgedrückt werden als:

$$EF = \frac{\lambda ET_i}{(R_{net} - G)_i} \quad (4)$$

Unter der Annahme, daß die momentane "evaporative fraction" repräsentativ für die Energieaufteilung des gesamten Tages ist (vergl. Crago 1996), kann auch die tägliche reale Verdunstungsrate abgeschätzt werden. Dazu muß allerdings auch die verfügbare Energie als Tagessumme bekannt sein (in $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$):

$$ETa_d = EF * (R_{net} - G)_d \quad (5)$$

wobei G_d in guter Näherung vernachlässigt werden kann. Um die Modellergebnisse mit einer Standardmethode zur Abschätzung einer Referenzverdunstung vergleichen zu können, wurde die Verdunstung ET_{PT} nach Priestley und Taylor (1972) berechnet (in $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$):

$$ET_{PT} = \alpha * \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * (R_{net} - G)_d \quad (6)$$

wobei Δ die Steigung der Sättigungsdampfdruckkurve, γ die sogenannte psychrometrische Konstante und α den Priestley-Taylor Koeffizienten darstellt.

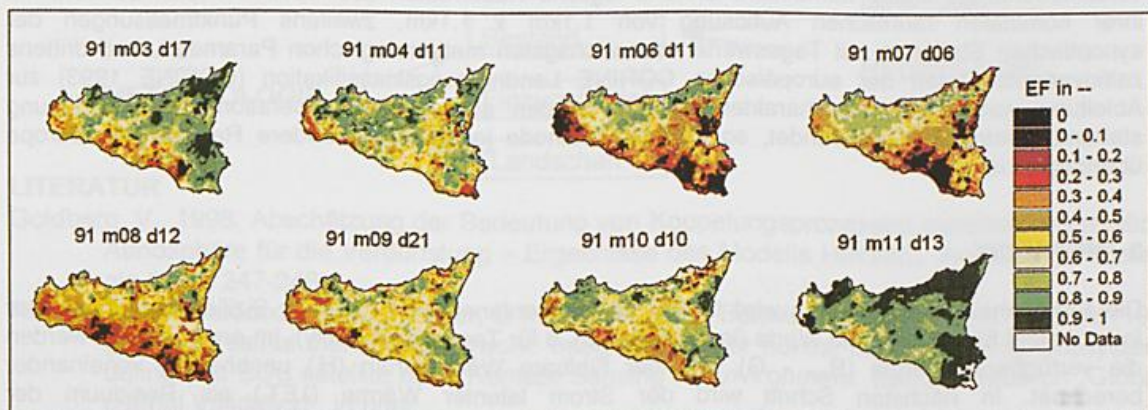


Abb. 1: Die "evaporative fraction" an ausgewählten Tagen 1991 in Sizilien. (91m03d17 = 17.03.1991).

3 ERGEBNISSE

Die Modellergebnisse zeigen einen realistischen Verlauf der räumlich hoch aufgelösten EF in den Jahren 1989 bis 1992 für Sizilien. Abb. 1 zeigt die EF für ausgewählte Tage 1991. Auch die Abschätzung der täglichen realen Verdunstungsraten ergibt zufriedenstellende Ergebnisse (Abb.2). Im Vergleich zur Priestley-Taylor Verdunstung ET_{PT} in Abb. 3 liegen die Sommerwerte deutlich tiefer, was den Wasserstreß und dadurch reduzierte Verdunstung aufzeigt, während ET_{PT} quasi-potentielle Werte zeigt mit Maxima im Sommer bei maximaler verfügbarer Energie.

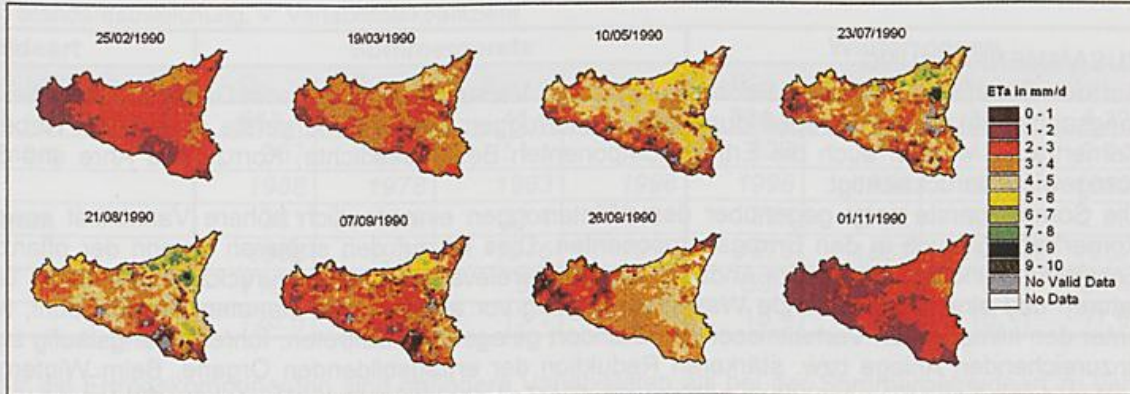


Abb. 2: Modellergebnisse der täglichen realen Verdunstung an ausgewählten Tagen 1991 in Sizilien.

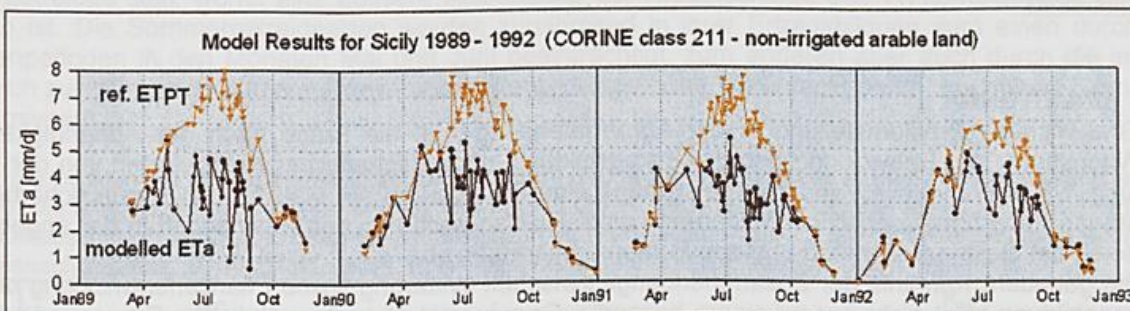


Abb. 3: Vergleich Modellergebnisse der realen Verdunstung mit Priestley-Taylor Verdunstung für die Landnutzungsklasse "extensive Landwirtschaft" in Sizilien.

LITERATUR

- Brutsaert, W. und Sugita, M. 1992: Application of self-preservation in the diurnal evolution of the surface energy budget to determine daily evaporation. *J. Geophys. Res.*, **97**, D17, 18377-18382.
- Choudhury, B.J., Idso, S.B., Reginato, R.J. 1987: Analysis of an empirical model for the soil heat flux under a growing wheat crop for estimating evaporation by an infrared-temperature based energy balance equation. *Agric. Forest Met.*, **39**, 283-297.
- CORINE 1993: CORINE land cover – Guide technique. *Publication officielle des Communautés européenne*, EUR 12585, Luxembourg, 1993.
- Crago, R.D. 1996: Conservation and variability of the evaporative fraction during daytime. *J. Hydrology*, **180**, 173-194.
- Priestley, C.H.B. und Taylor, R.J. 1972: On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Rev.*, **100**, 2, 81-92.
- Rossi, G., Ancarani, A., Cancelliere, A. 1995: Gestione dei Sistemi Idrici durante Periodi di Siccità: Il Ruolo dei Modelli. *Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Catania, Istituto di Idraulica e Gestione delle Acque*, Catania, 3-91.
- Supit, I. 1994: Global Radiation. *Official Publication of the European Communities*, EUR 15745, Luxembourg, 1994.

DIE WITTERUNGSABHÄNGIGKEIT DER ERTRAGSBILDUNG VON WINTERGETREIDE IM VERGLEICH ZU SOMMERANNUELLEN ARTEN

F.-M. Chmielewski
Humboldt-Universität zu Berlin
Institut für Pflanzenbauwissenschaften, FG Agrarmeteorologie
14195 Berlin, Albrecht-Thaer-Weg 5

ZUSAMMENFASSUNG

Auf der Grundlage 35jähriger Beobachtungen am Versuchsstandort Berlin-Dahlem wurde die Witterungsabhängigkeit der Ertragsbildung von Winterroggen und Sommergerste untersucht. Neben den Kornerträgen wurden auch die Ertragskomponenten Bestandesdichte, Kornzahl je Ähre und Einzelkorngewicht berücksichtigt.

Die Sommergerste zeigt gegenüber dem Winterroggen eine deutlich höhere Variabilität sowohl im Kornertrag als auch in den Ertragskomponenten. Dies ist auf den späteren Beginn der pflanzlichen Entwicklung und auf die kürzere Andauer der ertragsrelevanten Phasen zurückzuführen. Hohe Temperaturen und eine unzureichende Wasserversorgung vor allem in den Monaten Mai und Juni, wie sie unter den klimatischen Verhältnissen am Standort gelegentlich auftreten, führen zwangsläufig zu einer unzureichenden Anlage bzw. stärkeren Reduktion der ertragsbildenden Organe. Beim Winterroggen setzen diese Entwicklungsphasen zeitiger ein. Ein Teil der Varianz von Bestandesdichte und Kornzahl je Ähre kann bereits durch die Witterung im Herbst erklärt werden. Lediglich das Einzelkorngewicht wird bei beiden Getreidearten in vergleichbarer Weise durch die Witterung während der Kornfüllung beeinflusst.

1 EINLEITUNG

Eine wichtige Problemstellung in der Agrarmeteorologie ist die Frage nach der Abhängigkeit des Wachstums, der Entwicklung und der Ertragsbildung landwirtschaftlicher Nutzpflanzen von der Witterung. Die interannuelle Variabilität der Erträge einer Kulturart ist ein Maß für die Ertragssicherheit am Standort und hängt neben der Witterung beispielsweise auch von den Eigenschaften der angebauten Sorte, der Bestandesführung und den Bodenverhältnissen ab.

Die genauere Kenntnis der Zusammenhänge zwischen Witterung sowie Pflanzenentwicklung und Ertragsbildung trägt nicht nur zu einem besseren Grundverständnis des jährlichen Ertragsverlaufs bei, sondern ermöglicht ebenfalls die Beurteilung möglicher Auswirkungen einer anthropogen bedingten Klimaveränderung auf die Landwirtschaft.

2 DATEN UND METHODE

Für die vorliegenden Untersuchungen wurden die Ertragsdaten des *agrarmeteorologischen Intensivmeißfeldes* in Berlin-Dahlem genutzt. Das Versuchsfeld besteht aus acht Parzellen, die um eine pflanzenfrei gehaltenen Basis angeordnet sind. Auf den Parzellen werden in jährlicher Rotation Kartoffeln, Winterroggen, Ackerbohnen, Hafer, Zuckerrüben, Körnermais, Sommergerste und Gelbe Lupinen angebaut. Die Bewirtschaftungsmaßnahmen (Sorte, Fruchtfolge, Düngung, Bodenbearbeitung u.a.) werden gleichbleibend geführt, so daß sich die von Jahr zu Jahr bei den einzelnen Kulturen auftretenden Unterschiede in Entwicklung und Ertrag auf den Witterungsverlauf zurückführen lassen. Auf der pflanzenfreien Basis erfolgt die vollautomatische Erfassung der meteorologischen Standardgrößen sowie zusätzlicher agrarmeteorologisch relevanter Parameter (detaillierte Beschreibung bei Chmielewski et al. 1997, Chmielewski und Köhn 1999).

Für ein tieferes Verständnis der Ertragsbildung in Abhängigkeit von der Witterung wurden neben den Flächenerträgen auch die jeweiligen Ertragsmerkmale (C_D : Bestandesdichte, K_N : Kornzahl je Ähre, K_W : Einzelkorngewicht) in die Untersuchungen einbezogen. Diese unterliegen verschiedenen Bildungs- und Reduktionsprozessen, die während der Entwicklung des Getreides mehr oder weniger stark von der Witterung beeinflusst werden.

Zur Beschreibung der Witterungsabhängigkeit des Kornertrages und seiner Komponenten wurde als statistisches Verfahren die *Faktoranalyse* gewählt. Der Betrag der Faktorladung beschreibt die Stärke und Richtung, den die meteorologische Größe auf den Ertrag hat. Die Ladung des Ertrages bzw. der

entsprechenden Komponente ist ein Maß für die Korrelation dieser Größe mit dem Faktor und charakterisiert somit die Witterungsabhängigkeit der Zielgröße im entsprechenden Zeitabschnitt.

3 ERGEBNISSE

Der Winterroggen zeigt gegenüber der Sommergerste eine deutlich höhere Ertragsstabilität und somit bessere Anpassung an die Standortbedingungen (Tab. 1).

Tab. 1: Statistische Parameter für die Kornträge (Y_G in $t\ ha^{-1}$) und Ertragskomponenten von Sommergerste und Winterroggen, 1962-96, D_C : Bestandesdichte [$\text{Ähren}\ m^{-2}$], K_N : Anzahl Körner je Ähre, K_W : Einzelkorngewicht [mg]; s : Standardabweichung, v : Variabilitätskoeffizient

Getreideart	Sommergerste				Winterroggen			
	D_C	K_N	K_W	Y_G	D_C	K_N	K_W	Y_G
Mittel	563.1	15.0	41.6	3.45	384.6	31.1	36.6	4.22
Maximum	907	21.8	51.1	5.18	526	41.0	45.6	6.04
Jahr	1988	1978	1963	1996	1996	1990	1965	1990
Minimum	381	8.9	23.4	1.81	292	21.2	28.1	2.82
Jahr	1966	1988	1976	1976	1975	1969	1992	1962
s	115.9	2.7	5.5	0.76	59.4	5.0	3.7	0.74
v	20.6	18.2	13.1	22.2	15.4	15.9	10.1	17.6

Auch für die Ertragskomponenten sind geringere Variabilitäten als bei der Sommergetreideart zu verzeichnen. Maßgeblich hierfür dürfte der im Vergleich zum Sommergetreide frühzeitigere Ablauf der für die Ährchenausbildung wichtigen Entwicklungsphasen (etwa ab Bestockungsbeginn bis Blüte) des Wintergetreides sein, womit eine bessere Ausnutzung der Niederschläge des Winterhalbjahres verbunden ist. Die Sommergetreidearten werden zunehmend in ihrer Ertragsbildung zum einen durch Trockenperioden in den Monaten Mai und Juni beeinträchtigt, zum anderen aber auch durch die im Vergleich zur Winterung kürzere Ähren- und Blütenbildungsphase, verursacht durch das höhere Temperaturniveau.

Tab. 2: Faktorladungen für Bestandesdichte (D_C), Kornzahl (K_N) und Einzelkorngewicht (K_W) von Sommergerste, 1962-96. Die fett gedruckten Ladungen sind signifikant ($p < 0.05$). K : Ladung der Komponente, V_{Zeit} : Erklärte Varianz je Zeitabschnitt in %, V_{Ges} : Erklärte Gesamtvarianz in %, (T_x : Maximum und T_n : Minimum der Lufttemperatur, S : Sonnenscheindauer, D : Sättigungsdefizit, P : Niederschlagshöhe, E_p : pot. Verdunstung n. Penman).

Monat	D_C				K_N				K_W			
	04	05	06	07	04	05	06	07	04	05	06	07
K	0.33	0.23	0.54	0.11	0.27	0.55	0.34	0.21	0.19	1.00	0.25	0.41
T_x	0.40	0.00	-0.75	0.15	-0.16	-0.47	0.02	0.11	0.16	-0.16	-0.07	-0.61
T_n	0.19	0.17	-0.52	0.15	-0.08	-0.20	-0.25	0.01	0.25	-0.19	0.12	-0.64
S	0.52	-0.26	-0.68	0.17	-0.33	-0.73	0.28	0.17	0.04	-0.08	-0.26	-0.43
D	0.45	-0.16	-0.75	0.02	-0.33	-0.65	0.16	0.25	0.09	-0.15	-0.31	-0.66
P	-0.28	0.29	0.13	0.05	0.17	0.60	-0.40	-0.35	0.20	0.01	0.43	0.35
E_p	0.38	-0.19	-0.73	0.06	-0.41	-0.68	0.16	0.17	0.10	-0.01	-0.09	-0.51
V_{Zeit}	11.0	5.1	29.4	1.3	7.3	30.1	11.7	4.3	3.7	1.0	6.3	16.5
V_{Ges}	39.8				44.3				23.6			

Die Ertragskomponenten der Sommergerste zeigen eine deutliche Beeinflussung durch den jährlichen Witterungsverlauf (Tab 2). Im Mai wird vor allem die Kornzahl je Ähre (K_N) durch starke Einstrahlung und hohe Werte der potentiellen Verdunstung negativ beeinflusst. Ein geringes Sättigungsdefizit und ausreichende Niederschläge wirken positiv auf die Ausprägung dieses Merkmals. Für die Bestandesdichte (D_C) ergibt sich die stärkste Witterungsabhängigkeit im Juni. Vor allem hohe Temperaturen, kombiniert mit einer hohen potentiellen Verdunstung führen zu einer Reduktion ährentragender Halme. Das Einzelkorngewicht (K_W) wird erwartungsgemäß relativ spät, d.h. erst im Juli merklich beeinflusst. Hier wirken sich in erster Linie hohe Temperaturen negativ auf die Kornfüllung aus. Auch in diesem Zeitabschnitt ist eine höhere Luftfeuchtigkeit eher günstig für eine hohes Körngewicht. Insgesamt läßt sich die Variabilität des Korntrages zu annähernd 57 % aus der Witterung erklären. Vergleichbare Ergebnisse konnten auch für den Hafer erzielt werden, wobei Hafer noch sensibler auf hohe Temperaturen im Mai reagiert (Chmielewski und Köhn 1999).

Beim Winterroggen wird die Bestandesdichte bereits durch die Witterungsverhältnisse vor Eintritt in die Winterruhe beeinflusst. Überdurchschnittliche Temperaturen, lange Sonnenscheindauer und ein großes Sättigungsdefizit fördern in dieser frühen Entwicklungsphase die Anlage von Trieben maßgeblich. Speziell in Jahren mit milden Wintern und sehrzeitigem Vegetationsbeginn werden dann maximale Triebzahlen erreicht, die später über die Bestandesdichte auch ertragswirksam werden. Nach dem Schoßbeginn bis zur Vollblüte auftretende hohe Temperaturen und lange Sonnenscheindauer führen hingegen zu geringerer Bestandesdichte, da ein erheblicher Teil der gebildeten Triebe in dieser Phase wieder reduziert wird.

Auch die Anlage der Ährchen und damit die spätere Kornzahl je Ähre wird bereits frühzeitig, nämlich noch vor Eintritt in die Winterruhe durch einen sonnenscheinreichen und überdurchschnittlich warmen Herbst begünstigt. Nach Vegetationsbeginn im Frühjahr bis Schoßbeginn wirken sich eher kühle Temperaturen über eine Verlängerung der Ährenbildungsphase positiv auf Ährchen- und Kornzahl aus. Nach der Blüte führen hohe Temperaturen und ein damit in Verbindung stehendes ausgeprägtes Sättigungsdefizit zu einer verkürzten Kornbildungsphase und in Konsequenz zu einer deutlichen Minderung des Einzelkorngewichts.

Tab. 3: Faktorladungen für Bestandesdichte (D_C), Kornzahl (K_N) und Einzelkorngewicht (K_W) von Winterroggen, 1962-96. Die fett gedruckten Ladungen sind signifikant ($p < 0.05$). K : Ladung der Komponente, V_{Zeit} : Erklärte Varianz je Zeitabschnitt in %, V_{Ges} : Erklärte Gesamtvarianz in %, (T_x : Maximum und T_n : Minimum der Lufttemperatur, S : Sonnenscheindauer, D : Sättigungsdefizit, P : Niederschlagshöhe, E_p : potentielle Verdunstung nach Penman). Zeitraum: 1: Aufgang-Vegetationsende, 2: Winterruhe, 3: Vegetationsbeginn-Schossen, 4: Schossen-Vollblüte, 5: Vollblüte-Gelbreife.

	D_C					K_N					K_W				
Zeit	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
K	0.48	0.43	0.26	0.46	0.32	0.39	0.30	0.29	0.22	0.34	0.34	0.35	0.37	0.43	0.61
T_x	0.66	0.31	-0.32	-0.57	0.05	0.55	0.08	-0.43	-0.12	0.18	-0.19	-0.10	0.34	0.22	-0.71
T_n	0.54	0.32	-0.24	-0.59	-0.11	0.43	0.05	-0.36	-0.16	0.01	-0.23	-0.11	0.14	0.29	-0.64
S	0.40	-0.30	0.19	0.49	0.48	0.43	-0.05	-0.15	0.32	0.62	-0.27	0.35	0.20	-0.53	-0.21
D	0.59	0.04	-0.36	-0.34	0.13	0.47	-0.09	-0.40	-0.08	0.33	-0.21	0.19	0.44	-0.06	-0.66
P	-0.15	-0.21	0.19	0.27	-0.05	0.03	-0.17	-0.08	0.29	-0.13	-0.12	0.04	-0.21	0.21	0.27
E_p	0.27	-0.56	-0.03	0.38	0.47	0.47	-0.44	-0.31	0.16	0.58	-0.29	0.30	0.27	-0.49	-0.14
V_{Zeit}	23.1	18.3	6.8	21.2	10.2	15.1	9.1	18.3	5.0	11.6	11.5	12.0	13.7	18.7	37.3
V_{Ges}	44.2					29.1					59.1				

4. SCHLUSSFOLGERUNG

Insgesamt ist die Ertragsbildung des Winterroggens vor allem durch das zeitigere Eintreten und die längere Andauer der ertragsrelevanten Entwicklungsphasen, als auch durch die besser gesicherte Wasserversorgung während dieser Abschnitte nicht so stark witterungsabhängig wie die des Sommergetreides. Eine globale Erwärmung könnte beim Wintergetreide im Gegensatz zu den Sommergetreidearten möglicherweise sogar einige positive Effekte u.a. auf die Ausbildung der Bestandesdichte und Kornzahl je Ähre und damit auf die Ertragshöhe und -stabilität haben. Für Sommergerste würden höhere Temperaturen, stärkere Sättigungsdefizite und abnehmende Niederschläge im Mai und Juni alle Ertragskomponenten negativ beeinflussen und damit die Flächenerträge senken. Ein gutes Beispiel in der Vergangenheit waren die Trockenjahre 1976 und 1992.

LITERATUR

- Chmielewski, F.-M.; Köhn, W.; Krzysch, G. 1997:** Statisches agrarmeteorologisches Ertragsfeld. In: Ökologische Hefte der Landwirtschaftlich-Gärtnerischen Fakultät, Heft 7, Humboldt-Universität Berlin, 57-74.
- Chmielewski, F.-M. 1998:** Witterungsvariabilität und Ertragsbildung bei Getreide -dargestellt am Beispiel von Sommergerste, Annalen der Meteorologie, 37, 149-150.
- Chmielewski, F.-M.; Köhn, W. 1999:** The long-term agrometeorological field experiment at Berlin-Dahlem, Germany. Accepted for publication in Agricultural and Forest Meteorology.
- Chmielewski, F.-M.; Köhn, W. 1999:** Impact of weather on yield components of spring cereals over 30 years. Accepted for publication in Agricultural and Forest Meteorology.

AUSWIRKUNG EINER KLIMAÄNDERUNG AUF DAS WACHSTUM VON WINTERWEIZEN

Harald M. Maier
Hauptstraße 28, 85120 Hepberg

1 ZUSAMMENFASSUNG

Der Arbeit lag zum einen ein Modell, zum anderen dreijährige Feldversuche auf einem Praxisbetrieb zugrunde. Im Feldversuch waren Trockenstreßparzellen angelegt, welche die Simulation von Niederschlagsausfällen während des Schossens und während der Blüte erlaubten. Denn nach den derzeitigen Klimaprognosen ist mit einem häufigeren und stärkeren Auftreten von Wassermangel zu rechnen. Die Ertragsverluste betragen bei Trockenstreß in der Schossphase 23% bis 32%, bei Trockenstreß um die Blüte 8% bis 30%.

Die Feldversuchsergebnisse dienten zudem der Überprüfung und Verbesserung des Ausgangsmodells CERES-Wheat/NSIM und der Entwicklung des neuen Modells WOOP. Die Klasseneinteilung des in der objektorientierten Sprache Smalltalk geschriebenen Programms wurde dazu neu organisiert. Prinzipielle Veränderungen betrafen ferner die Teilmodelle Entwicklung (neue Entwicklungsskala, neue Phyllochron- und Stadienberechnung), Wachstum und Verdunstung. Das Modell WOOP gab die Kornerträge gut wieder (Standardfehler der Schätzung 8,4 dt/ha, für die ungestörten Varianten 3,5 dt/ha).

Das optimierte und validierte Modell wurde zur Berechnung der Kornerträge unter künftigen Klimabedingungen für die drei bayerischen Standorte Kempten, Kösching und Würzburg eingesetzt. Dazu dienten die Daten des Deutschen Klimarechenzentrums (Modell ECHAM-1) für vier IPCC-Szenarien. Die berechneten Ertragsrückgänge lagen zwischen 10% und 80%. Sie hingen vorwiegend von der Bodentiefe ab. Die Ertragsverluste durch eine Klimaänderung sind an trockenen oder flachgründigen Standorten Bayerns höher als an feuchten und tiefgründigen. Die Konsequenzen einer Klimaänderung für Bayern werden diskutiert.

2 METHODIK UND ERGEBNISSE

Die Methodik gliedert sich in Feldversuche, Entwicklung eines Weizenmodells und schließlich Modellierung der Auswirkung einer Klimaänderung auf der Basis von ECHAM-1-Daten.

Feldversuche

Die Feldversuche umfaßten drei Winterweizenanbauperioden (3 Jahre). Sie dienten zum einen der Gewinnung von Daten für die Modellierung, um das Ausgangsmodell zu testen und zu verbessern. Zum anderen wurde die Auswirkung von Trockenstreß in besonders ertragsrelevanten Stadien experimentell untersucht. Der Versuch bestand aus vier Varianten, einer ungestörten, einer früh (im Schossen) trockengestreßten, einer spät (Blüte bis Kornfüllung) trockengestreßten und einer beregneten Variante. 60 Zentimeter tief in den Boden gerammte Eisenplatten verhinderten seitlichen Wasserzufluß.

Neben den Wetterdaten wurde das Bodenwasser in vier Horizonten, sowie zahlreiche Pflanzenparameter gemessen. Zur Ernte erfolgte die Erhebung der Ertragsstruktur.

Die Ertragsverluste betragen bei Trockenstreß in der Schossphase 23% bis 32%, bei Trockenstreß um die Blüte 8% bis 30%.

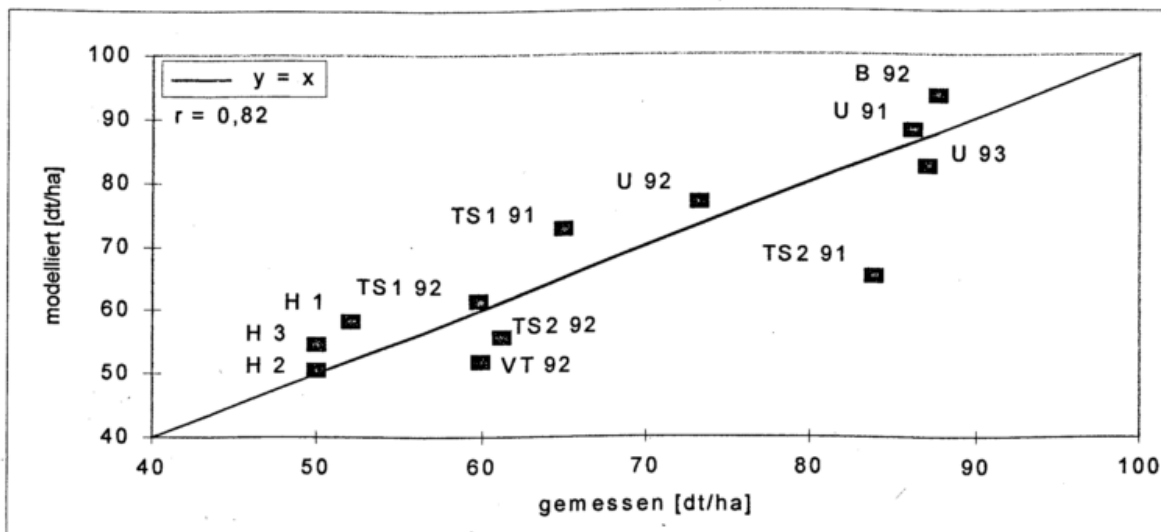


Abbildung 1: Vergleich zwischen modellierten und gemessenen Kornerträgen (TS 1 = früher Trockenstreß; TS 2 = später Trockenstreß; U = ungestört; VT = verminderte Durchwurzelungstiefe; H 1 bis 3 = Daten aus Niederösterreich)

Entwicklung eines Weizenmodells

Ausgangspunkt war das Modell Ceres-Wheat/NSim, das weltweit eingesetzt wird und viele Prozesse deterministisch, manche aber auch auf statistischem Wege beschreibt. Ein Anliegen war es, das Modell deterministischer zu machen. Wesentliche Veränderungen betrafen die Beschreibung von Entwicklung und Wachstum, auch mit Hilfe einer neuen Skala zur Beschreibung der Weizenentwicklung. Ferner wird nun die Verdunstung über einen nach ALLEN, 1989, veränderten Penman-Monteith-Ansatz beschrieben. Darüberhinaus erfolgte eine Neuorganisation der Kompartimente innerhalb des neuen objektorientierten Modells, das den Namen WOOP (Weizen, objektorientiert programmiert) erhielt. Die Validierung des Modells anhand der Feldversuche ergab eine gute Wiedergabe der Entwicklungsstadien. Der Standardfehler der Schätzung liegt im Mittel über alle Jahre bei 3,8 Tagen. Den Trockenmasseaufbau und die Triebbildung kann das Modell ebenfalls gut nachvollziehen. Der Standardfehler der Schätzung zwischen berechneten und gemessenen Kornerträgen beträgt 8,4 dt/ha bei einem Korrelationskoeffizienten von 0,82 (Abbildung 1). Läßt man die Variante mit dem späten Trockenstreß 1991 außen vor so steigt der Korrelationskoeffizient auf 0,90. Für die ungestörten Varianten errechnet sich ein Standardfehler von nur 3,5 dt/ha.

Modellierung der Auswirkung einer Klimaänderung

Mit dem so verbesserten Modell und auf der Grundlage von Echam-1-Daten für 4 IPCC-Szenarien, dreißigjährigen Wetterdaten des DWD für drei Standorte unterschiedlicher Naturräume Bayerns (Kempten, Kösching bei Ingolstadt und Würzburg) sowie 4 Bodentiefen wurde die Auswirkung einer Klimaänderung untersucht.

Das Modell WOOP beginnt mit der Simulation von Bodenprozessen ab der Ernte der Vorfrucht. Dies ermöglichte jahresübergreifende Modellläufe. Außerdem wurde das Modell mit einem Ent

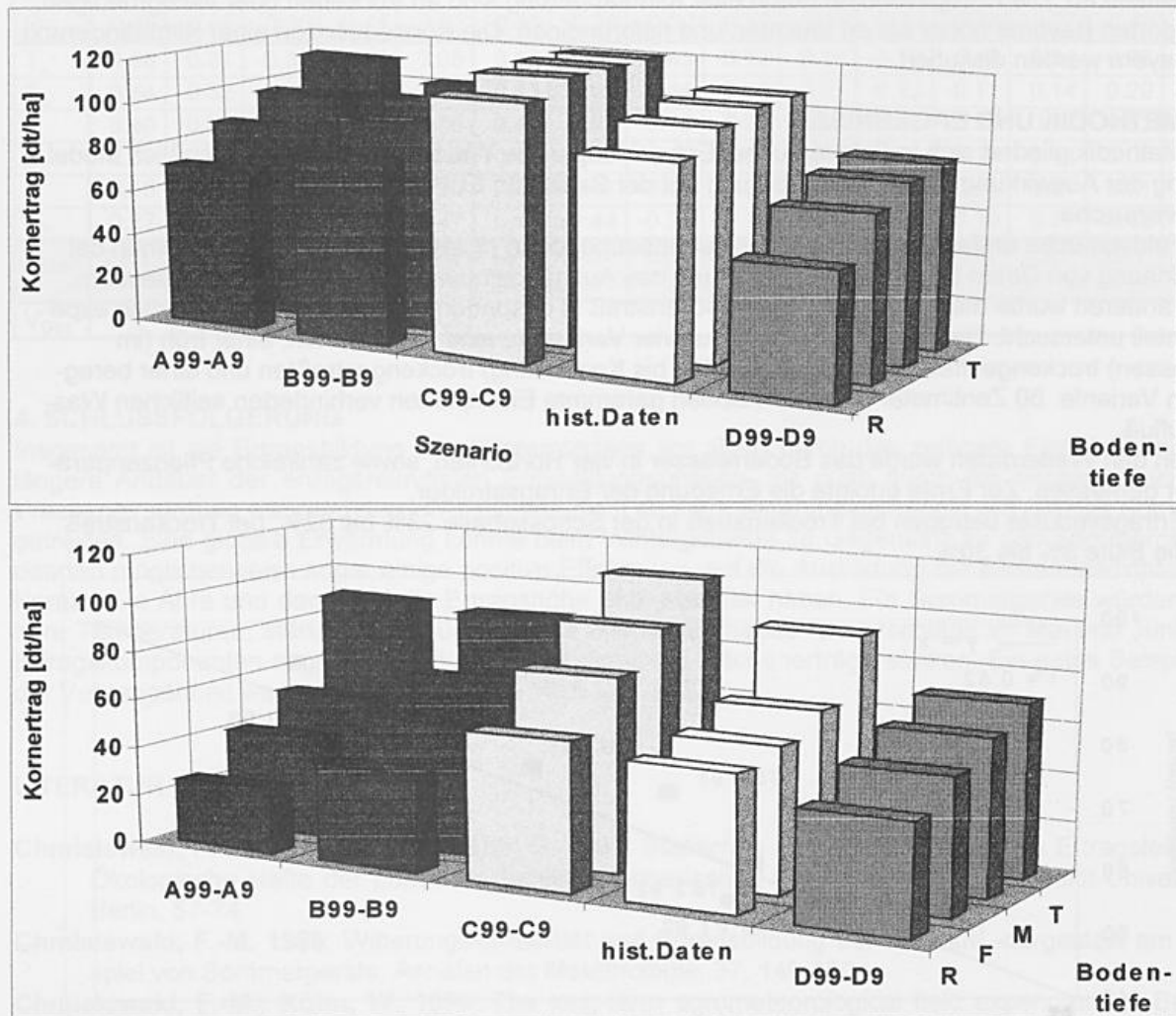


Abbildung 2: Kornerträge für Kempten (oben) und Würzburg (unten) auf der Grundlage der historischen Daten und der vom ECHAM-1 abgeleiteten Szenarien (A = „business as usual, weiter wie bisher“, B = „2 x CO₂“, C = Kontrollexperiment, D = drastische Verringerung des CO₂-Ausstoßes von 1985) für 4 Bodentiefen (T=150, M=90, F=60, R=30 cm).

scheidungsalgorithmus ausgestattet, wonach die N-Düngung in Abhängigkeit vom Bestandeszustand bzw. -entwicklung, von der Befahrbarkeit und der Witterung erfolgt.

Die Kontrolldaten des Modells ECHAM-1 wichen stark von den historischen Daten der drei ausgewählten Standorte ab, so daß nur mit Unterschieden zwischen den drei Szenarien und den Kontrollszenarien gerechnet werden konnte. Dazu wurden Monatsmittelwerte für alle vom Modell benötigten Witterungsparameter über die ersten und letzten 9 Jahre jeweils eines Szenario gebildet und dann diese Monatsmittelwertdifferenzen zu den Tageswerten der dreißigjährigen Klimadaten der drei Standorte addiert.

Einige Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt. Es ist ein deutlicher Rückgang des Kornertrags mit abnehmender Bodentiefe festzustellen. Der Ertrag, den das Modell auf der Grundlage der durch die Kontrolldaten veränderten dreißigjährigen Wetterdaten berechnete (C99-C9) ist jedoch kleiner als der Ertrag bei unveränderten Wetterdaten oder bei den auf der Basis von Szenario D veränderten Wetterdaten (D99-D9). Am Trockenstandort Würzburg sind die Auswirkungen größer als am feuchten Standort Kempten.

3 DISKUSSION

Zuverlässigkeit der Klimaprognosen

Die Klimadaten des Modells ECHAM 1 konnten nicht direkt in das Modell WOOP eingelesen werden, um so den Kornertrag unter künftigen Klimabedingungen zu ermitteln, denn die Unterschiede zwischen den Kontrolldaten (Szenario C) und den historischen Daten waren erheblich. Die Maschenweite des Vorhersagegitters war noch zu groß für eine regionale Klimaprognose. Regionale Klimamodelle die räumlich und zeitlich genauere Temperatur- und Niederschlagsszenarien liefern könnten, stehen erst seit jüngster Zeit zur Verfügung. Insbesondere die Vorhersage des Niederschlags ist sehr unsicher. Andererseits sind die Niederschläge für das Wachstum von Pflanzen und damit für Pflanzenbaumodelle sehr wichtig. Das bedeutet: Die über das Modell WOOP erstellten Prognosen enthalten die mit den Ausgangsdaten verknüpften Unsicherheiten. Zudem können sich bereits kurzfristige Wetterextreme auf die Anlage und Ausbildung von Ertragsorganen auswirken. Trotz dieser Einschränkungen gilt: Das durchgeführte Verfahren der verknüpften Anbaujahre mit eigenem Entscheidungsalgorithmus zum Einsatz von Stickstoff in Abhängigkeit von Stadium und Bodenbefahrbarkeit ist im Prinzip richtig. Stehen also regionale Klimadaten zur Verfügung, so ist jederzeit eine entsprechend genauere Ertragsprognose möglich.

Im Modell WOOP blieben jedoch einige Faktoren unberücksichtigt, die in Zukunft große Bedeutung für den Ertrag erhalten könnten. Als Beispiele seien die erhöhte Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre und die Wirkung von Schadstoffen genannt. Dies sowie Reaktionsmöglichkeiten auf veränderte Klimabedingungen wird bei MAIER, 1997, im Detail diskutiert.

Folgen für Bayern

Die Modellergebnisse zeigen, daß sich die Auswirkungen einer Klimaänderung für Bayern regional unterscheiden. Gebiete, die sich im Regenschatten der Mittelgebirge befinden (z.B. Südrand der fränkischen Alb) und in denen bereits heute Trockenperioden auftreten, müssen mit häufigeren und längeren Dürreperioden rechnen, zumal auf flachgründigen (Rendzinen des Juras) oder tonigen (fränkische Keuperböden) Böden. Selbst in besseren Lößlagen Unterfrankens ist mit stärkeren Ertragsschwankungen als derzeit üblich zu rechnen. Durch die prognostizierte Zunahme von Wetterextremen muß vor allem auf ungünstigeren Standorten auch im Getreide mit einer größeren Schwankungsbreite der Kornerträge gerechnet werden (KATZ und BROWN, 1992).

In Gebieten, in denen der Niederschlag nicht limitierend wirkt, kann dagegen mit einem Kornertragsanstieg gerechnet werden. Dort ist mit einem verringerten Auftreten von Pilzkrankheiten zu rechnen. In Bayern wird sich die Grenze zwischen Grünland- und Ackerlandstandorten nach Süden verschieben. In heute reinen Grünlandgebieten wird infolge zurückgehender Niederschläge Ackerbau lohnend und deshalb mehr Grünland umgebrochen werden.

Nach den derzeitigen Prognosen könnte sich das Landschaftsbild Bayerns verändern. Trockengebieten werden aus der landwirtschaftlichen Produktion herausfallen. Die Erzeugung landwirtschaftlicher Güter wird sich auf die besseren Standorte mit intensivem Ackerbau konzentrieren. Die Bedeutung Bayerns als Erzeuger landwirtschaftlicher Produkte wird abnehmen.

4 LITERATUR

ALLEN R. G., M. E. JENSEN, J. L. WRIGHT, R. D. BURMAN (1989): Operational estimates of reference evapotranspiration. In: Agron. J. 81, 650-622.

KATZ R. W., B. G. BROWN (1992): Extreme events in a changing climate: Variability is more important than averages. Climate Change 21, 289-302.

MAIER, H.M. (1997): Optimierung und Validierung eines Wachstumsmodells zum Einsatz in der Bestandesführung und Klimawirkungsforschung, Dissertation, TU München Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau.

Nachweis einer standörtlich differenzierten Dynamik der Ozonwirkung an Tabak (*Nicotiana tabacum* L. Bel W3) im Großraum Rostock

Ody, S.; Stüdemann, O.; Eckert, S.
Universität Rostock, AG „Angewandte Meteorologie und Klimatologie“
Institut Landschaftsplanung und Landschaftsökologie, Liebig-Weg 6, 18051 Rostock

Zusammenfassung

Das Ziel unserer Untersuchungen ist die Beschreibung der Genese des geographischen Musters phytotoxischer Ozonwirkungen im Bereich einer mesoskalen Klimasequenz in Nordost – Deutschland. Dazu wurde in Kenntnis des arealheterogenen Auftretens der Ozonepisoden und der standortabhängigen phytotoxischen Ozonwirkung von der AG „Angewandte Meteorologie und Klimatologie“ ein aktives Biomonitoring mit verschiedenen Bioindikatorpflanzen (*Nicotiana tabacum* L. Bel W3 und Bel B, Buschbohne, Weidelgras, Weizen, Große Brennnessel) über 4 Vegetationsperioden (1995-1998) im Freiland durchgeführt.

1 Einleitung

Ozon gilt heute mit Abstand als der wichtigste direkt wirkende Pflanzenschadstoff. Im Gegensatz zu Kammerversuchen steigt jedoch die Schädigung von Ozon bei Freilandpflanzen nicht linear mit der Ozonkonzentration. Die tatsächlich absorbierbaren effektiven Dosen von Ozon durch die Pflanzen ergeben sich aus der unter Tageslicht auftretenden Ozonkonzentrationen, dem Gaswechsel und dem pflanzlichen Metabolismus. Dabei treten die stärksten Schädigungen bei 40-70 ppb, also bei mittleren, relativ häufig auftretenden Konzentrationen auf. Richtlinien für den praktischen Pflanzenschutz sind daher nur sinnvoll, wenn die Zusammenhänge zwischen der bodennahen Stoffkonzentration und der pflanzen- und standortspezifischen Stoffdeposition bzw. -aufnahme bekannt sind.

2 Methodologie

2.1 Begriffe und Definitionen

Grundlage des Rostocker Hierarchischen Ozonmonitoring sind das **landschaftsökologische Axiom**, nach dem alle landschaftsökologischen Phänomene durch hierarchisch geordnete Prozesse unterschiedlicher Raum-Zeit-Skalen entstehen (STÜDEMANN, ECKERT) und die **Multiscale analysis** als Analyse eines landschaftsökologischen Phänomens mit Hilfe jeweils zu entwickelnder hierarchischer Hypothesensysteme für das Erkennen von Prozeßhierarchien. Das Ziel der Multiscale analysis ist das scalebezogene und phänomenbezogene Bestimmen des Wirkungsgefüge von Prozeßpotentialen, der Steuergrößen und der prozeßauslösenden Faktoren.

Das darauf aufgebaute prozeßorientierte **Rostocker Hierarchische Monitoring** (RHM) beinhaltet entsprechend einer kausalen Wirkungserklärung landschaftsökologischer Phänomene die Erforschung von Schadsymptomen auf allen organismischen Organisationsstufen von Pflanzen unter Berücksichtigung von Prädisposition sowie klimageographischer und naturräumlicher Ozonbildungspotentiale.

2.2 Übersicht zu den Methoden des RHM zur Erklärung eines geographischen Musters phytotoxischer Ozonwirkungen

1. Ableitung einer Catena von Ozonmeßstationen in einer mesoskalen Klimasequenz.

Zingst	Reinluftgebiet „Boddenlandschaft“
Stuthof	anthropogen geprägte, flache Grundmoräne im NW von Rostock
Holbeinplatz	emissionsbelastetes Innenstadtgebiet Rostocks
Liebig-Weg	Stadtgebiet Rostocks
Meteorologisches Meßfeld	südlicher Stadtrandbereich Rostocks
Gülzow	Reinluftgebiet der welligen Grundmoräne

2. Anwendung der topologischen Differentialanalyse zur Auswahl des Standortes für Versuchspartellen von Pflanzen.

3. Wirkungsidentifikation von Ozon und Peroxyacethylnitrat durch Einbeziehung verschiedener Pflanzenarten.

4. **Mathematisch-statistische Analyse stochastischer Zeitreihen des Ozons** und der Kurz- und Langzeit-AOT40 Werte (Accumulated ozone dose over a threshold of 40 ppb) für die Formulierung pflanzenspezifischer Ozon-Belastungsindexe entsprechend der Dosis-Wirkungsbeziehung
5. **Wetterlagenklassifikation** des Deutschen Wetterdienstes.
6. **Downscaling der Prozesse** der Dynamik der Atmosphäre zur Klärung luftgebundener Transportphänomene von Ozonvorläufergasen, **Raum-Zeit-Analyse der Genese und Ausprägung von Ozonepisoden** für überregionale Aerosoltransporte, Land-See-Windzirkulationen, Stadt-Umland-Windsysteme, innerstädtische Luftaustauschprozesse.
7. **Satellitenbilddauswertungen und GIS-Anwendungen** zur Kennzeichnung des Inventars von Naturräumen.
8. **Bodenchemische Analyse für Makro- und Mikronährstoffe.**
Um Mangelerscheinung mit ähnlichem Krankheitsbild wie die Ozonschäden auszuschließen, ist eine Untersuchung der verfügbaren Nährstoffe der Pflanzenstandorte unerlässlich.
9. **Bestimmung des standortspezifischen Ozonwirkungspotentials** bzw. der Depositionsrates von Ozon über die Stomata als Funktion des pflanzenverfügbaren Bodenwasserdargebotes und autökologischer Prozeßfaktoren (Porometer- und Tensiometermessungen, Photonenflussmessungen) zur Quantifizierung des Ozoninfluxes.
10. **Visuelle Bonitierung makroskopischer Symptome** für die Dokumentation der phänologischen Phase, des allgemeiner Pflanzenzustandes, des wöchentlichen Blattzuwachses und des blattalterungsspezifischen Nekrotisierungsgrades.
11. **Entwicklung eines Schadstufensystems** zur Beschreibung der standörtlich differenzierten Dynamik der ozoninduzierten Schadentwicklung auf verschiedenen organismischen Organisationsstufen unter Berücksichtigung entwicklungsphysiologischer Stufen.
12. **Licht- und Polarisationsmikroskopie** für die histologische Schadbildbeschreibung
13. **Rasterelektronenmikroskopie mit Energiedispersiver Röntgenstrahlanalyse** (EDX= energie dispersive X-ray) für die Beschreibung morphologischer Strukturen und Mineralstoffverteilungen
14. **Transmissionselektronenmikroskopie mit Elektronenenergieadsorptionsspektroskopie** (EELS = electron energy loss spectroscopy) für die Charakterisierung der zellulären Schadengenesen wie dem Membranabbau sowie ozonbedingter Elementverlagerungen oder Strukturbildungen

3 Nachweis einer standörtlich differenzierten Dynamik der Ozonwirkung

3.1 Methoden und Materialien

Als Versuchspflanzen wurde u. a. beim Rostocker Ozonmonitoring von 1995 bis 1998 die extrem ozonempfindliche Tabaksorte *Nicotiana tabacum* L. Bel W3 verwendet. Die Nekrosenbildung korreliert sehr gut mit geringen bis mittleren Ozonbelastungen bis 200 µg/m³. Die Lage der Meßstationen und der Tabakpflanzungen repräsentiert entsprechend einer regelhaften Anordnung von Klimamesochoren eine Klimasequenz (ECKERT/ STÜDEMANN, 1997) und befinden sich bei einer Entfernung von ca. 90 km im urbanen und ländlichen Raum des mittleren und nördlichen Mecklenburgs im Großraum Rostocks.

Die Versuchspflanzen wuchsen zudem an einem Standort in zwei Varianten - wassergesättigter bzw. natürlicher Boden - auf, damit die Schadgase durch die geöffnete Stomata bei optimaler Transpiration maximal einwirken können. Das pflanzliche Bodenwasserdargebot (Saugspannung) wurde bei der trockenen und der bewässerten Variante mit Tensiothern gemessen. Die Tageswerte der meteorologischen Elemente Lufttemperatur, relative Feuchte, Windgeschwindigkeit und -richtung sowie der Schadgase O₃, NO und NO₂ und CO wurden von den Meßstationen Zingst (Umweltbundesamt), Rostock-Holbeinplatz (Landesamt für Umwelt und Natur), Rostock-Stuthof (Senat der Hansestadt Rostock) und Gülzow (Landesamt für Umwelt und Natur) genutzt.

3.2 Entwicklung eines Boniturschemas

Aus den deskriptiven Angaben der wöchentlichen Pflanzenbonitur wurde ein Schadstufensystem entwickelt, in welchem die Blätter entsprechend nach Blattspitze, -mitte und -grund getrennt bewertet werden. Diese Blattalterungsstufen werden in 5 Nekrotisierungsgrade eingeteilt und mit den pflanzenwirksamen aufsummierten Ozondosen AOT40 des Bonitierungszeitraumes in Beziehung gesetzt.

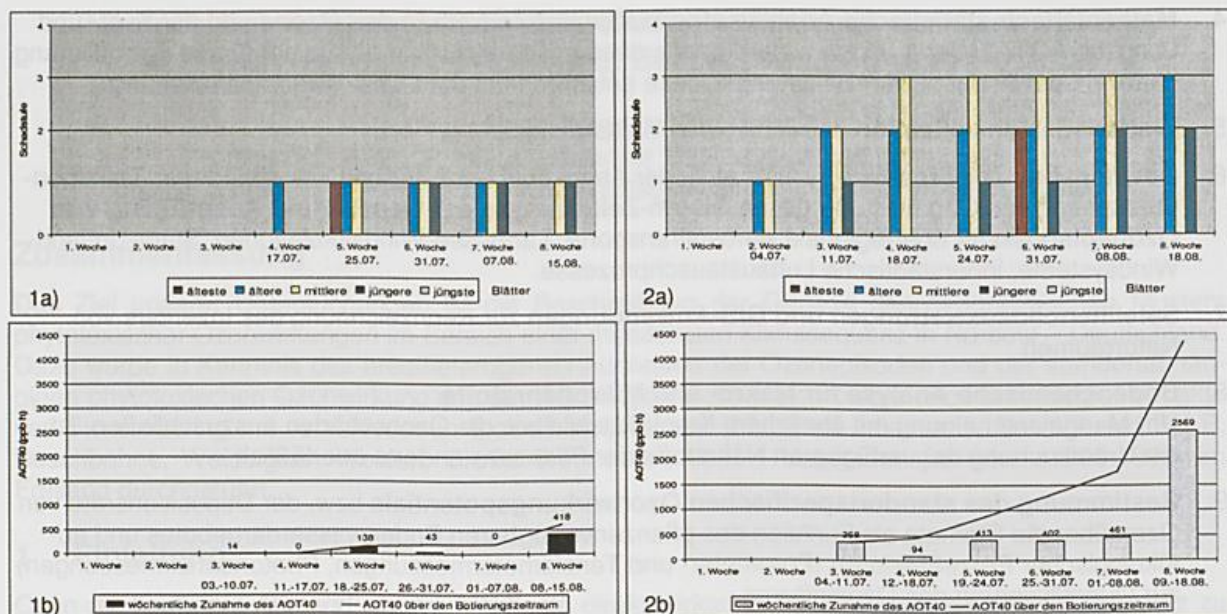


Abb. 1a) Blattschadensverteilung im Innenstadtbereich Rostocks, Standort Holbeinplatz (Schadstufen: 0-keine, 1-wenig, 2-weniger starke, 3-massive, 4-sehr massive Schäden; ohne Berücksichtigung der abgestorbenen Blätter); 1b) aufsummierte stündliche Ozonkonzentrationen über dem Schwellenwert 40 ppb (AOT40) für den Standort Holbeinplatz/ Innenstadt von 8.00-21.00 Uhr für den bonitierten Zeitraum

Abb. 2a) Blattschadensverteilung im Reinluftgebiet des mittleren Mecklenburgs, Standort Gültzow (Schadstufenverteilung s. o.); 2b) AOT40 für den Standort Gültzow/ Reinluftgebiet

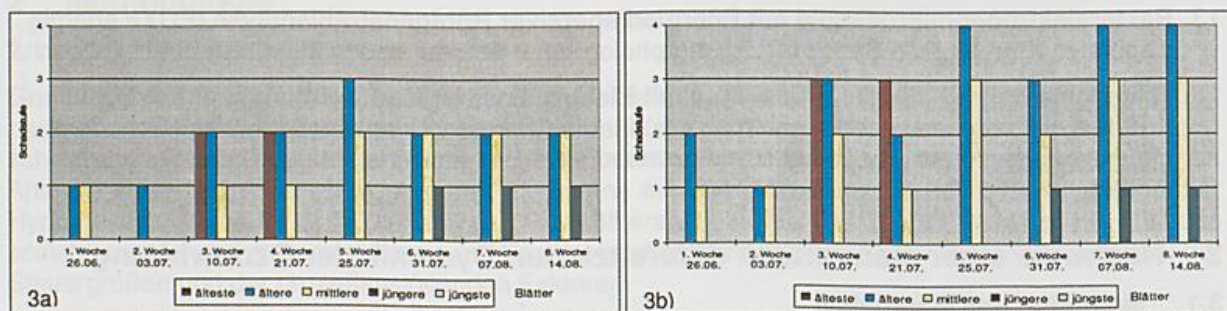


Abb. 3: Blattschadensverteilung am Stadtrandbereich, Standort Meteorologisches Meßfeld Satower Str. (Schadstufenverteilung s. o.) a) natürliche Variante; b) bewässerte Variante

Aus den Diagrammen der Schadensbonitur wird deutlich, daß die makroskopischen Schäden der Tabakpflanzen in Übereinstimmung mit der räumlichen Verteilung der pflanzenrelevanten Ozonkonzentrationen (AOT40-Ganglinien über die Vegetationsperiode) deutlich standortabhängig differenziert sind. Die Schädigung von Ozon steigt jedoch nicht streng linear mit der Konzentration, sondern ist von den stomatäregulierenden Faktoren (wie Wasserdargebot des Bodens, relative Luftfeuchte, Temperatur und Strahlung) und dem Schädigungsgrad des Pflanzengewebes abhängig. Stärkere Nekrosierungen treten bei Bewässerung und bei Sonnenexposition auf.

4 Literatur

ECKERT, S.; STÜDEMANN, O. (1997): Genese und Ausprägung von Ozonepisoden an der südlichen Ostseeküste. IN: Annalen der Meteorologie 34, 4. Deutsche Klimatagung 34, 4. Deutsche Klimatagung vom 1. bis 3. Oktober 1997. S. 183-184

ODYA, S. (1998): Nachweis einer standörtlich differenzierten Dynamik der Ozonwirkung an Tabak (*Nicotiana tabacum* L. Bel W3) im Großraum Rostocks. Rostock, Univ., Diplomarbeit

TAGESZEITLICHE UND JAHRESZEITLICHE VARIATION DER GERUCHSEMISSION AUS DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN NUTZTIERHALTUNG

G. Schaubberger, M. Piringer und E. Petz

Institute für Medizinische Physik und Biostatistik, Veterinärmedizinische Universität Wien,
Veterinärplatz 1, A 1210 Wien (med.physik@vu-wien.ac.at) und
Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, A1190 Wien (umwelt@zamg.ac.at)

ZUSAMMENFASSUNG

Für die Anwendung von Ausbreitungsmodellen auf die Geruchsemission aus der landwirtschaftlichen Nutztierhaltung, ist die Kenntnis der Emission erforderlich. Das beschriebene Emissionsmodell basiert auf einem quasi-stationären Bilanzmodell für die sensible Wärme des Stalles sowie einer einfachen Abschätzung der Geruchsfreisetzung im Stall. Daraus können als Emissionskenndaten der Volumenstrom sowie die Geruchskonzentration der Abluft bestimmt werden.

Die Ergebnisse zeigen einen deutlichen tageszeitlichen- und jahreszeitlichen Verlauf, der vor allem durch den variablen Volumenstrom der Lüftungstechnischen Anlage bedingt ist. Die jahreszeitliche Variation der Geruchskonzentration liegt für einen Schweinemaststall zwischen 687 GE/m^3 und 3226 GE/m^3 . In den Sommermonaten liegt die mittlere Geruchskonzentration während des Tages nahe am Minimum, da während dieser Zeit der maximale Volumenstrom durch die Lüftungstechnische Anlage gefördert wird. An Tagen, an denen während der Nachtstunden der minimale Volumenstrom und während des Tages der maximale Volumenstrom gefördert wird (große Tagesamplitude der Lufttemperatur), kann ein Konzentrationsverhältnis von 4.6 erwartet werden.

Die Modellrechnung zeigt, daß die vereinfachende Annahme einer konstanten Emission nicht geeignet ist, die Geruchsimmission im Nachbereich von Tierhaltungsbetrieben mit Hilfe von Ausbreitungsmodellen zu berechnen.

1 EINLEITUNG

Die Landwirtschaft wird in zunehmenden Maße mit Fragen des Umweltschutzes konfrontiert. Bei der Haltung von landwirtschaftlichen Nutztieren treten verschiedenartige, luftgetragene Emissionen auf. Eine dieser Emissionen ist der Geruch, der die Akzeptanz der Tierhaltung in der unmittelbaren Umgebung von Wohngebieten sinken läßt. In einigen Ländern (zB Österreich, Deutschland, Schweiz, Niederlande, USA) wurden Richtlinien erarbeitet, die sich mit dieser Problematik beschäftigen (Piringer und Schaubberger 1999). Anhand dieser Richtlinien können Abstände zwischen Stallungen und Wohnbebauung festgelegt werden, wodurch ein weitgehender Schutz vor Immissionen aus der Nutztierhaltung zu erwarten ist.

Neben diesen empirischen Parametrisierungen kann mit Ausbreitungsmodellen die Geruchsausbreitung behandelt werden. Dazu ist die Festlegung der Geruchskonzentration und des Volumenstroms der Abluft notwendig. Zumeist werden zeitlich konstante Emissionsszenarien herangezogen. Um diese vereinfachende Annahme zu überprüfen, wurden diese Kenngrößen mit Hilfe eines quasi-stationären Bilanzmodells für die sensible Wärme berechnet. Im folgenden wird das Modell beschrieben, mit dessen Hilfe die Berechnung der notwendigen Emissionskenndaten (Volumenstrom und Geruchskonzentration in der Abluft) ermöglicht wird.

2 MATERIAL UND METHODE

Die Berechnung des Volumenstroms basiert auf einem quasi-stationären Bilanzmodells (CIGR, 1984; Schaubberger und Piringer 1999a und 1999b) der sensiblen Wärmeströme, das die sensible Wärmeabgabe der Tiere, die Transmissionsverluste durch die Bauteile und den Wärmestrom durch die Lüftungstechnische Anlage berücksichtigt. Für die sensible Wärmeabgabe der Tiere wird die zirkadiane Variation berücksichtigt. Da Lüftungstechnische Anlage in Stallungen einen variablen Volumenstrom haben, dessen Regelgröße die Stalltemperatur ist, liefert das Modell in Abhängigkeit der Außentemperatur den geförderten Volumenstrom (siehe Abb. 1).

Die Geruchsfreisetzung durch die Tiere sowie Gülle und Futter wird durch einfaches Modell beschrieben, das den gleichen Tagesgang wie die sensible Wärme hat (Martinec et al. 1997; Oldenburg 1989).

Die Modellrechnungen erfolgen mit einer zweijährigen Meßreihe aus Wels, für die relevanten meteorologischen Parameter als Halbstundenmittelwerte vorliegen. Die Modellrechnungen wurde für einen Stall für 1000 Mastschweine vorgenommen (Schaubberger und Piringer 1999a).

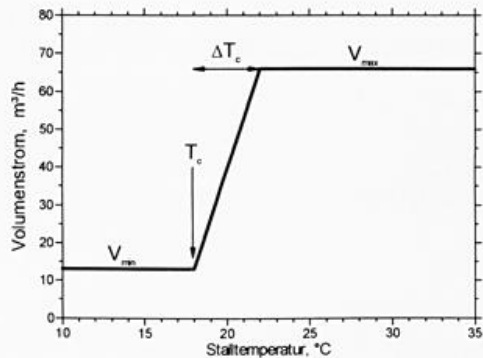


Abb. 1: Regelcharakteristik der lüftungstechnischen Anlage eines Stalles. Bei variablen Volumstaromanlagen wird der geförderete Volumenstrom für ein Mastschwein mit einer lebendmasse von 60kg (Stellgröße ist die Versorgungsspannung der Ventilatoren) in Abhängigkeit von der Stalltemperatur (Regelgröße) verändert. Die Regelung hat zwei Parameter: Sollwert T_c und Proportionalbereich ΔT_c . Der minimale und der maximale Volumenstrom V_{min} und V_{max} ergeben sich aus der Auslegungsberechnung der lüftungstechnischen Anlage.

3 ERGEBNISSE

Die Ergebnisse zeigen einen deutlichen tageszeitlichen- und jahreszeitlichen Verlauf, der vor allem durch den variablen Volumenstrom der lüftungstechnischen Anlage bedingt ist. Die jahreszeitliche Variation der Geruchskonzentration liegt für einen Schweinemaststall zwischen 687 GE/m^3 und 3226 GE/m^3 (Abb. 2)

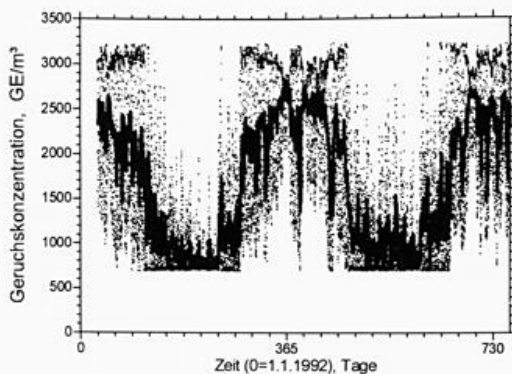


Abb. 2: Jahresverlauf der Geruchskonzentration der Abluft eines Schweinemaststalles. Die Linie zeigt den Verlauf nach Glättung der tageszeitlichen Schwankung durch gleitende Mittelbildung.

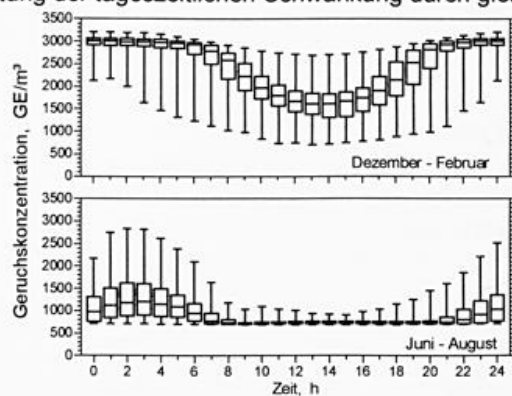


Abb. 3: Mittlerer Tagesverlauf der Geruchskonzentration der Abluft während der Wintermonate (Dezember bis Februar) der Sommermonate (Juni bis August) in Form von Boxplots (Median; ± 1.5 Interquartilsabstand; \pm Extermwerte)

In den Sommermonaten liegt die mittlere Geruchskonzentration während des Tages nahe am Minimum. Da während der Sommermonate (tagsüber) die Lüftungstechnische Anlage vorwiegend den maximalen Volumenstrom fördert, tritt während dieser Zeit eine maximale Verdünnung der freigesetzten Geruchsstoffe auf. Dadurch liegt die Geruchskonzentration in dieser Zeit nahe dem Minimum (Abb. 3).

An Tagen, an denen während der Nachtstunden der minimale Volumenstrom und während des Tages der maximale Volumenstrom gefördert wird (große Tagesamplitude der Lufttemperatur), kann ein Konzentrationsverhältnis von 4.6 erwartet werden (Abb. 4A). Im Hinblick auf die Ausbreitung der Geruchsstoffe ist dabei auch der Tagesgang der Windgeschwindigkeit und der Stabilität der Atmosphäre von Bedeutung (Abb. 4B).

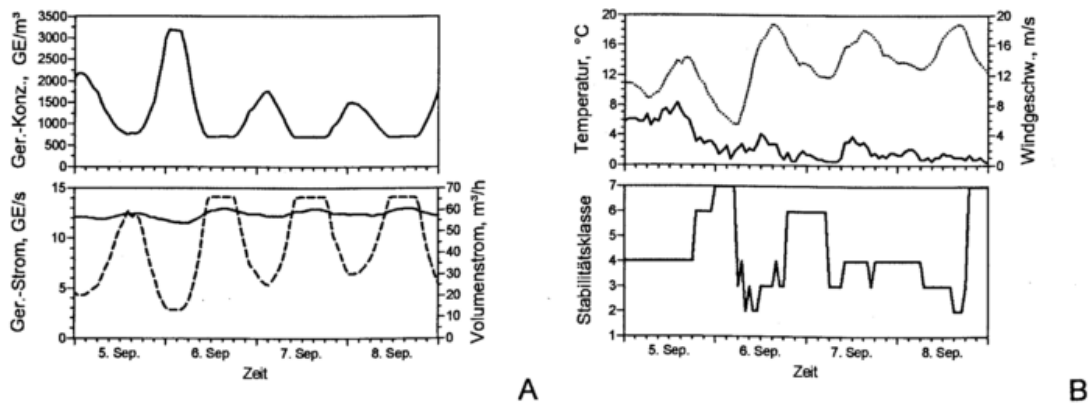


Abb. 4: Emission (A) und meteorologische Situation (B) zwischen 5. und 8. September 1992 in Wels.
 (A) berechneter Geruchsstrom, Volumenstrom und Geruchskonzentration der Abluft.
 (B) Stabilitätsklasse, Temperatur und Windgeschwindigkeit am Standort

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

- Die Annahme einer konstanten Geruchskonzentration der Abluft zur Berechnung des Mindestabstands zwischen Stall und Wohnbebauung ist nicht zulässig
- Die Variabilität der berechneten Geruchskonzentration über das Jahr liegt zwischen 687 GE/m³ und 3226 GE/m³.
- Der Tagesgang der Geruchskonzentration kann bei einer maximalen Variation des Volumenstroms (minimale / maximaler Volumenstrom) ein Verhältnis von 1 : 4,6 erreichen
- Während des Sommerhalbjahres, in dem die meisten Beschwerden vorgebracht werden, liefert die Annahme einer konstanten Emission (Volumenstrom und Geruchsstrom) für die Tageshälfte eine erste Schätzung der zu erwartenden Geruchskonzentration
- Langfristige Messungen der Geruchsfreisetzung sind notwendig, um die Ergebnisse von Ausbreitungsmodellen durch Emissionszenarien zu verbessern.

LITERATUR

- CIGR Commission International du Génie Rural (1984) Climatization of animal houses. Scottish Farm Buildings Investigation Unit, Aberdeen, Scotland
- Martinec M; Hartung E; Jungbluth Th (1998) Geruchsemissionen aus der Tierhaltung (Literaturstudie). pp68, Ministerium für Umwelt und Verkehr, Baden-Württemberg, Germany
- Oldenburg J (1989) Geruchs- und Ammoniak-Emissionen aus der Tierhaltung. KTBL-Schrift 333, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. KTBL, Darmstadt
- Piringer M; Schauburger G (1999) Comparison of a Gaussian Diffusion Model with Guidelines for Calculating the Separation Distance between Livestock Farming and Residential Areas to Avoid Odour Annoyance. Atmospheric Environment, 33 2219-2228
- Schauburger G., Piringer M., Petz E.(1999a): Diurnal and annual variation of odour emission of animal houses: a model calculation for fattening pigs. Journal of Agricultural Engineering Research, in print
- Schauburger G., Piringer M., Petz E.(1999b): Steady-state balance model to calculate the indoor climate of livestock buildings demonstrated for fattening pigs. International Journal of Biometeorology, submitted.

BILANZMODELL ZUR SIMULATION DES RAUMKLIMAS IN DER LANDWIRTSCHAFTLICHEN NUTZTIERHALTUNG

G. Schaubberger und P. Pilati

Institute für Medizinische Physik und Biostatistik, Veterinärmedizinische Universität Wien,
Veterinärplatz 1, A 1210 Wien (med.physik@vu-wien.ac.at)

ZUSAMMENFASSUNG

Ein quasi-stationäres Bilanzmodell wurde anhand von Meßwerten eines Rindermaststalles evaluiert. Das Modell besteht aus den beiden Energiebilanzen für sensible und latente Wärme sowie der Massenbilanz für Kohlendioxid. Die Analyse der Modellfehler zeigt, daß generell eine Überschätzung der Stalltemperatur bzw eine Unterschätzung der Luftfeuchtigkeit durch das Modell erfolgt. Für eine Modellverbesserung wird die Berücksichtigung der Verdunstung an feuchten Flächen im Stall diskutiert. Die Kohlendioxidproduktion der Tiere wird durch das Modell um etwa 16% unterschätzt. Die Annahme, daß sich das Modell quasi-stationär verhält, konnte als gute Näherung des Systemverhaltens bestätigt werden. Die statische Modellannahme führt zu einer Erhöhung des Modellfehlers, da die zirkadianen Rhythmen der Tiere (Wärmeabgabe, Fütterungszeiten) durch das Modell nicht berücksichtigt werden.

1 EINEITUNG

Um komplexe Systemverhalten, wie es das Stallklima darstellt, beschreiben zu können, ist die Entwicklung von Modellen erforderlich. Mit Hilfe dieser Modelle ist die Quantifizierung der Zusammenhänge der einzelnen Systemkomponenten möglich. Unter Stallklima wird hier ein Gleichgewichtszustand verstanden, der sich zwischen den Systemkomponenten eines Stalles (Tierbestand, Gebäude und Lüftungstechnischer Anlage) einstellt.

Das zu evaluierende Simulationsmodell besteht aus Bilanzgleichungen (Schaubberger, 1988; CIGR 1984; Schaubberger und Piringer, 1999). Das Modell wird durch drei Systemkomponenten charakterisiert: Tierbestand, Stallgebäude als Systemgrenze und die Lüftungstechnische Anlage. In den Energie- und Stoffbilanzen werden die, dem Stall zugeführten und abgeführten Ströme gegenübergestellt. Der Tierbestand stellt eine stetige Wärme- und Stofflast dar, die dem Stall ständig einen fühlbaren Wärmestrom und einen Massenstrom in Form von transpiriertem Wasserdampf, Kohlendioxid, Methan, etc. zuführt. Der Transport dieser von den Tieren abgegebenen Wärme- und Stoffströme an das Außensystem erfolgt durch die Gebäudehülle und durch die Lüftungstechnische Anlage (Energie- und Stofftransport durch den geförderten Massenstrom). Diese Transportvorgänge streben einen Ausgleich des Gradienten zwischen dem Stallraum und seiner Umgebung an.

2 MATERIAL UND METHODE

Das Modell wurde anhand von Messungen in einem Rindermaststall evaluiert. Zur Erfassung der sensiblen und latenten Wärmeströme wurden kontinuierliche Messungen der Lufttemperatur, der Luftfeuchtigkeit innerhalb und außerhalb des Stall und des Massenstromes der Lüftungstechnischen Anlage vorgenommen. Weiters wurde die Kohlendioxidkonzentration der Abluft sowie die Aktivität der Tiere mit passiven Infrarotdetektoren kontinuierlich erfaßt. Der Außenzustand der Luft wurde in einer Wetterhütte (etwa 2m über Grund) gemessen. Innerhalb des Stalles wurden die Messungen im Zuluftkanal, an drei Stellen innerhalb des Stallraumes und im Abluftkamin durchgeführt (Schaubberger und Pilati, 1998).

3 ERGEBNISSE

In Tab. 1 ist der Modellfehler für einige Stallklimaparameter getrennt für die einzelnen Witterungsperioden (Winter, Sommer und Übergangszeit) zusammengestellt. Neben dem Median wird für jeden Parameter der Interquartilsabstand angegeben (Differenz zwischen dem oberen und dem unteren Quartil des Modellfehlers). Die ausgewählten Parameter beschreiben den Modellfehler der einzelnen Bilanzgleichungen: Stalltemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, spezifische Enthalpie und Kohlendioxidkonzentration.

Für alle Meßperioden gilt, daß das Modell die Stalltemperaturen überschätzt und die Luftfeuchtigkeit unterschätzt. Im Sommerfall nimmt der Modellfehler der Stalltemperatur (+1.4K) und der Feuchtigkeit (-14%) etwas ab. Die Übergangszeit zeigt bei der Temperatur den größten Modellfehler (+2.4K), bei der relativen Feuchtigkeit liegt der Fehler bei -24%. Für die Energiebilanz (spezifische Enthalpie, Tab. 1) als Summe der sensiblen und der latenten Wärmebilanz, kann das Modell als gut kalibriert angesehen werden.

Die Kohlendioxidkonzentration wird durch das Modell für alle Meßperioden unterschätzt.

Tab. 1: Modellfehler (Median und Quartilsabstand QA der Differenz zwischen Modellwert und Meßwert) für die Stallparameter Temperatur T (°C), relative Feuchtigkeit f (%), spezifischen Enthalpie h (Wh/kg) und Kohlendioxidkonzentration C (ppm) für den gesamten Datensatz (Total) sowie für Sommer, Winter und Übergangszeit.

Parameter	Zeitraum	Median	QA
T (°C)	Total	2,0	2,5
	Sommer	1,4	2,7
	Winter	2,2	2,2
	Übergang	2,4	3,3
f (%)	Total	-26	12
	Sommer	-14	6
	Winter	-30	5
	Übergang	-24	8
h (Wh/kg)	Total	-0,53	1,2
	Sommer	-0,69	1,1
	Winter	-0,62	1,2
	Übergang	-0,28	1,2
C (ppm)	Total	-148	347
	Sommer	-42	269
	Winter	-318	467
	Übergang	-104	206

3 DISKUSSION

Für das Modell wird angenommen, daß sich das System quasi-stationär und statisch verhält.

Stationarität bedeutet, daß die Wärme- und Stoffbilanzen zu jedem Zeitpunkt ausgeglichen sind, d.h., daß bei zeitlichen Änderungen der Außenbedingungen das Raumklima ohne Verzögerung reagiert. Betrachtet man im Modell den Transmissionsterm, der den Wärmetransport durch die Stallbegrenzungen beschreibt, ist ein Speicherverhalten von Baustoffen von vornherein nicht auszuschließen. Die Kreuzkorrelation zwischen der Außen- und der Stalltemperatur zeigt, daß das Maximum des Korrelationskoeffizienten im Sommer mit einer zeitlichen Verschiebung von 60 Minuten, im Winter von 80 Minuten zu beobachten ist. Das bedeutet, daß die Innentemperatur mit geringer Verzögerung auf die Außentemperatur reagiert. Die quasi-stationäre Annahme wird dadurch gestützt. Ein zeitlich verzögerter Wärmestrom von außen nach innen, der durch den Tagesgang der Außentemperatur bedingt wäre, konnte nicht nachgewiesen werden. Weiters hat der Vergleich zwischen der Lufttemperatur im Stall und der Oberflächentemperatur der Außenwände (innen) gezeigt, daß auch durch Besonnung von Außenwänden keine zusätzliche Wärmequelle für den untersuchten Stall hervorgerufen wird.

Anhand der Tagesgänge der Modellfehler für die vier Stallklimaparameter (Lufttemperatur, relative Feuchtigkeit, spezifische Enthalpie und Kohlendioxidkonzentration) wurde die statische Modellannahme überprüft. Der Tagesgang ist für alle Stallklimaparameter deutlich ausgeprägt (Schauberger und Pilati, 1998). Maxima treten in den Morgen- und Abendstunden auf. Sie sind durch die Fütterungs- und Freßzeiten bedingt. Die Amplituden der Tagesgänge betragen in der Sommer- und Übergangszeit etwa 5K bzw 12%. Die Tagesamplituden der Modellfehler der Enthalpie und der Kohlendioxidkonzentration sind hingegen kleiner. Um den Tagesgang der Modellfehler zu analysieren, wurde die gemessene Aktivität der Tiere (Bewegungsaktivität) herangezogen.

Der bimodale Verlauf der relativen Aktivität für Mastrinder wird auch von Pedersen und Takai (1997) beschrieben. Zur Beschreibung des Tagesverlauf der Aktivität wurde hier eine Sinusfunktion mit zwei Termen (Periodendauer 24 h und 12h) gewählt.

Energieabgabe der Tiere

Die Energieabgabe der Tier wurde aus der Summe des sensiblen und des latenten Wärmestroms der Lüftungstechnischen Anlage und des sensiblen Wärmestroms der Transmission durch die Bauteile berechnet. Der mittlere Modellfehler als Differenz zwischen dem Modellwert und dem berechneten Wert aus den Meßwerten ergibt für die Energieabgabe der Tiere $43 \text{ W} \pm 199 \text{ W}$, das entspricht einer Unterschätzung durch das Modell von 4.4%.

Sensible und latente Wärmebilanz

Der Modellfehler der Temperatur und der relativen Feuchtigkeit des Stallraumes unterscheiden sich deutlich von Null (Tab. 1).

Die Energieabgabe des Tieres läßt sich anhand des Metabolismus berechnen. Für den Bereich der thermoneutralen Zone kann die Energieabgabe als konstant angenommen werden. Die Aufteilung der vom Tier produzierten Energie QA in einen sensiblen SA und einen latenten Anteil, wird in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur T des Tieres beschrieben (CIGR, 1984). Diese Funktion beschreibt für alle Tierarten die Transpiration in gleicher Weise. Ob dieser Ansatz geeignet ist, die unterschiedlichen physiologischen Gegebenheiten wiederzugeben, wird auch von Pedersen (1997) diskutiert. Die Bestimmung der sensiblen Wärmeabgabe stößt im Stall jedoch auf Probleme, da die Transpiration der Tiere nicht von der Verdunstung an feuchten Flächen (Evaporation) getrennt werden kann. Daher wird von der CIGR (1984) die Einführung eines Korrekturfaktors k_s vorgeschlagen, der die zusätzlich auftretende Evaporation beschreibt unter der Annahme, daß die Verdunstung adiabatisch verläuft. Dabei ist k_s ein Faktor, der von der Art und dem Zustand des Stallbodens, sowie vom Fütterungssystem abhängt. Pedersen (1989) schlägt für k_s Werte zwischen 0.72 und 0.91 vor. Das bedeutet, daß zwischen 9% und 28% der sensiblen Wärmeabgabe des Tieres für die Verdunstung an feuchten Flächen aufgewendet wird.

Kohlendioxidbilanz

Im Modell ergibt sich die Kohlendioxidproduktion der Tiere aus der Proportionalität mit der von den Tieren produzierten Energie, die wiederum proportional der metabolischen Körpermasse (M^a mit $a \approx 0.6$) ist. Die Proportionalitätskonstante ist das kalorische Äquivalent mit 0.163 l/h W (CIGR, 1984).

Aus der Energieproduktion der Tiere (CIGR, 1984), den Meßwerten der Kohlendioxidkonzentration der Zuluft und der Abluft sowie aus dem gemessenen Volumenstrom wurde das kalorische Äquivalent berechnet. Der Mittelwert über die Meßperiode beträgt 0.189 l/h W und ist um etwa 16% größer als der Wert der für das Modell gewählt wurde. Auch van Ouwerkerk und Pedersen (1993) haben anhand des respiratorischen Quotienten und der Energieabgabe der Tiere einen Wertebereich zwischen 0.17 und 0.20 l/h W berechnet, Pedersen und Takai (1997) geben einen Wert von 0.185 l/h W an.

Das evaluierte Bilanzmodell hat sich grundsätzlich als ein geeignetes Hilfsmittel für die Abschätzung des Stallklimazustandes in Stallungen mit einer Lüftungstechnischen Anlage erwiesen, wobei das Modell vorwiegend für zeitlich gemittelte Berechnungen z.B. von Tagesmitteltemperaturen geeignet ist. Erst durch die Einbeziehung des zirkadianen Verhaltensmusters der Tiere in der Modellierung der Energie- und Stoffabgabe ist der Übergang auch auf kürzere Integrationszeiten möglich. Unabhängig von dieser Modellerweiterung auf ein dynamisches Modell beim Tier, muß die Kohlendioxidabgabe der Tiere um etwa 16% erhöht werden. Die letzte Modellverbesserung betrifft die Einbeziehung der Verdunstung an feuchten Flächen. Diese Wärmeströme ermöglichen eine bessere Justierung des Modells für die sensible und latente Wärmebilanz. Damit kann der Modellfehler der Lufttemperatur und der relativen Feuchtigkeit verkleinert werden.

LITERATUR

- CIGR - Commission International du Génie Rural (1984): Climatization of Animal Houses. Scottish Farm Buildings Investigation Unit, Aberdeen, Scotland.
- Pedersen, S. (1989): Moisture production and correction factors for sensible heat. In CIGR., Second report of working group on climatization of animal houses. Scottishpress Publishers Limited, Aberdeen, p23-29.
- Pedersen, S., Takai, H. (1997): Diurnal Variaton in animal heat production in relation to animal activity. In Bottcher, R.W., Hoff, St.J. (eds): 5th International Livestock Environmental Symposium. Bloomington, Minnesota.
- Schauberger G., Pilati P. (1998): Evaluierung eines quasi-stationären Bilanzmodells zur Stallklimasimulation: Vergleich mit Messungen eines Rindermaststalles. Wiener Tierärztl Monatsschrift, 85, 49-55.
- Schauberger G., Piringer M., Petz E. (1999): Steady-state balance model to calculate the indoor climate of livestock buildings demonstrated for fattening pigs. International Journal of Biometeorology, submitted.
- Schauberger, G. (1988): Ein quasi-stationäres Bilanzmodell zur Stallklima-Simulation. Deut. Tierärztl. Wschrift. 95, 200 - 205.
- van Ouwerkerk, E.N.J., Pedersen, S. (1993): Application of the carbon dioxide mass balance method to evaluate ventilation rates in livestock buildings. In Collins, E., Boon, C. (eds.): 4th International Livestock Environmental Symposium, Coventry, England.

PFLANZENPHAENOLOGIE IN DER SCHWEIZ

Claudio Defila

SMA-MeteoSchweiz, CH-8044 Zürich

Seit 1951 werden in der Schweiz systematisch pflanzenphänologische Beobachtungen durchgeführt. An rund 160 Stationen, verteilt in allen Klimaregionen und Höhenstufen der Schweiz, werden 69 Phänophasen an 26 verschiedenen Pflanzenarten beobachtet und notiert. Routinemässig werden während der Vegetationsperiode wöchentlich phänologische Bulletins erstellt. Vorgestellt werden zwei Anwendungsbeispiele der Phänologie. Einerseits phänologische Kalender andererseits pflanzenphänologische Zeitreihen.

Von rund 100 Stationen in der Schweiz wurden spezielle phänologische Kalender der Periode 1951 - 90 erstellt und publiziert. Neben den mittleren Eintrittsterminen wurden auch die statistischen Verteilungen der Daten (in fünf Klassen) sowie die Extremwerte pro Phänophase und Station dargestellt. Die phänologischen Zeitreihen der Periode 1951-98 wurden für verschiedene phänologische Jahreszeiten und für die gesamte Vegetationszeit erstellt. Diese Grafiken existieren für die gesamte Schweiz sowie für sechs Klimaregionen der Schweiz.. Aufgrund der milden Winter zeichnet sich bei diesen Darstellungen ein Trend zur Verfrühung bei den Frühlingsphasen ab.

Zudem werden die zwei ältesten phänologischen Zeitreihen der Schweiz vorgestellt. Beim Blattaussbruch der Rosskastanie in Genf (1808-1998) ist ein deutlicher Trend zur Verfrühung seit etwa 1900 ersichtlich. Dieser Trend dürfte vor allem durch das Stadtklima verursacht sein, da die Rosskastanien mitten in der Stadt Genf stehen. Seit 1894 wird in Liestal (Baselland) die Kirschenblüte beobachtet. Bei dieser ländlichen Station ist hingegen kein Trend erkennbar. Dies verstärkt die Vermutung, dass bei der Rosskastanie in Genf das Stadtklima die Ursache der starken Verfrühung ist, obschon diese beiden Phänophasen nicht streng miteinander vergleichbar sind, da sie nicht zur gleichen Zeit auftreten. In der heutigen Zeit wird sehr viel über Umweltschäden in der Biosphäre und über eine globale Klimaänderung geschrieben und diskutiert. Die Phänologie kann in der Problematik der "Global Change" einen kleinen Beitrag leisten indem die phänologischen Beobachtungsstationen als minimale Dauerbeobachtungsflächen dienen.

40 JAHRE BEOBACHTUNGEN IN DEN INTERNATIONALEN PHÄNOLOGISCHEN GÄRTEN

Thomas Rötzer

Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Pflanzenbauwissenschaften, Fachgebiet Agrarmeteorologie
Albrecht-Thaer-Weg 5, D-14195 Berlin - email: thomas.roetzer@rz.hu-berlin.de

ZUSAMMENFASSUNG

Die Internationalen Phänologischen Gärten (IPGs) stellen ein einzigartiges Netz in Europa zur Beobachtung von Pflanzen dar. In allen Gärten wurden genetisch identische Bäume und Sträucher gepflanzt, um großräumig Eintrittstermine verschiedener pflanzlicher Entwicklungsphasen vergleichen zu können. Innerhalb der letzten 40 Jahre wurden ca. 60.000 Beobachtungsdaten (Stand 1/1999) von 26 Pflanzenarten aufgezeichnet.

Im Rahmen des Forschungsprojekts "Klimavariabilität und Phänologie in Mitteleuropa" sollen anhand der IPG-Daten phänologische Mittelwert-, Einzeljahres- und Trendkarten erstellt und Beziehungen zur großräumigen Klimavariabilität Europas (Zirkulationsmaße und meteorologische Felder) untersucht werden. Der erste Schritt hierbei ist, die Plausibilität der Daten zu prüfen und Lücken in den Datenreihen zu schließen.

1 GESCHICHTE UND STATUS QUO

Phänologische Beobachtungen haben eine lange Tradition. Aus Japan, wo seit dem Jahr 705 der Beginn der Kirschblüte beobachtet wird, stammen die ältesten bekannten Aufzeichnungen. In England wurden erste Beobachtungen im Jahr 1736 durchgeführt, das erste internationale Beobachtungsnetz wurde von der Societas Meteorologica Palatina zu Mannheim im Jahr 1781 eingerichtet.

Das Netz der Internationalen Phänologischen Gärten besteht seit nun 40 Jahren, nachdem auf der ersten Tagung der Agrarmeteorologischen Kommission der WMO im Jahre 1953 die Einrichtung eines internationalen phänologischen Beobachtungsprogramms beschlossen wurde. Zweck dieser Gärten sollte es sein, unter Ausschaltung äußerer (standortbezogener) und innerer (erblicher) Einflüsse großräumige Vergleiche anstellen zu können (SCHNELLE und VOLKERT 1957).

Dem Bemühen von F. Schnelle und E. Volkert ist es zu verdanken, daß bereits im Jahr 1959 die ersten Beobachtungen von einem Internationalen Phänologischen Garten gemeldet wurden. Die Zahl der IPGs stieg vom Jahr 1959 bis Mitte der 70er Jahre stetig. Im Jahr 1978 gab es bereits 66 aktive Gärten. In der Folgezeit nahm dann die Zahl der IPGs langsam ab. Seit Beginn der 90er Jahre liegt sie konstant bei 50 Gärten.

Abbildung 1 zeigt die geographische Verteilung der IPGs, die im Zeitraum 1959 bis 1999 Beobachtungen meldeten. Wie zu erkennen ist, erstreckt sich das phänologische Netz von Nordskandinavien bis in den Süden nach Portugal bzw. Griechenland. Die westlichsten Gärten liegen in Irland und Portugal, die östlichsten in Finnland im Norden und Bulgarien im Süden.



Abb.1: Geographische Lage der Internationalen Phänologischen Gärten.

Legende:

- : aktive Gärten;
- : geschlossene Gärten (Aktivität > 10 Jahre)
- ▼: Muttergarten

Die primäre Aufgabe der nächsten Jahre ist es, in den bestehenden IPGs veraltete, kranke und abgestorbene Pflanzen zu ersetzen sowie das Standardprogramm, das 26 Pflanzenarten umfaßt, in allen Gärten zu komplettieren. Außerdem sollen neue Gärten eingerichtet werden, um Lücken im IPG-Netz zu schließen und das Netz innerhalb Europas zu verdichten. Vor allem in den Ländern Frankreich, England, Schweiz, Norditalien und Polen wäre die Anlage neuer Gärten sinnvoll. Auch eine Erweiterung des Netzes nach Osten hin ist denkbar. Aus den vorgenannten Gründen ist deshalb vordringlich die Vermehrung der Pflanzen im Muttergarten voranzutreiben, um Pflanzen für den Ersatz bzw. die Erweiterung bestehender Gärten sowie für die Anlage neuer Gärten zu erhalten.

2 NUTZEN UND VORTEILE

Der Nutzen phänologischer Beobachtungen ist vielfältig. In der Forschung, in der Planung und Beratung aber auch in der täglichen Praxis werden phänologische Daten benötigt. Beispiele für den Einsatz phänologischer Daten sind Untersuchungen zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Vegetation, die Eichung von Satellitendaten, der Einsatz in Ernte- und Wachstumsmodellen, die Pollenflugvorhersage, der Einsatz bei Frostwarnungen für Obst- und Sonderkulturen und das Erstellen phänologischer Karten für Planung, Beratung und Lehre. Gegenüber den Daten nationaler Netze bieten die Beobachtungen der Internationalen Phänologischen Gärten folgende Vorteile:

- Einheitliches Datenmaterial durch genetisch identische Pflanzen
- Präzise Beobachteranleitung und exakte Vorschriften zur Anlage der Gärten
- Professionelle Betreuung der Gärten durch Institute, botanische Gärten etc.
- Große flächenmäßige und zeitliche Abdeckung
- Lange Datenreihen (z.T. bis zu 40 Jahren)
- Nähe zu Klimastationen

3 AKTUELLE FORSCHUNG

Forschungsergebnisse aus jüngster Zeit, die auf Daten der Internationalen Phänologischen Gärten basieren, liegen beispielsweise von KRAMER (1996) oder MENZEL (1997) vor. Ende 1998 lief das Forschungsprojekt „Klimavariabilität und Phänologie in Mitteleuropa“ an. Mittels der IPG-Daten sollen neben der Erstellung von phänologischen Mittelwert- und Einzeljahreskarten - in entsprechender Methodik wie beim Agrar- und Umweltklimatologischen Atlas von Bayern (RÖTZER et al. 1997) - langjährige phänologische Trends von einzelnen Stationen und Naturräumen untersucht und Trendkarten angefertigt werden. Ferner werden Untersuchungen der Beziehungen phänologischer Felder zur großräumigen Klimavariabilität anhand von Gitterpunktdatensätzen wie die NCEP- oder die Jones-Daten bzw. anhand eines Zirkulationsindex wie dem NAO-Datensatz durchgeführt.

Vorab muß jedoch eine Plausibilitätsprüfung auffälliger Werte durchgeführt werden. Alle Werte, die vom Mittelwert der Untersuchungsstation um mehr als 30 Tage abweichen, wurden deshalb selektiert und einer Prüfung unterzogen. Zunächst erfolgte ein Datenabgleich mit den schriftlichen Aufzeichnungen, um mögliche Datenübertragungsfehler zu erkennen. Zusätzlich wurden die Anmerkungen der Beobachter auf Hinweise möglicher Fehlerquellen überprüft. Anschließend wurde der Untersuchungswert mit dem Eintrittsdatum der entsprechenden Vor- bzw. Nachphase der Pflanze, mit dem Eintrittsdatum derselben Phase der nächstliegenden Stationen sowie mit Eintrittsdaten ähnlich terminierter Phasen an derselben Station verglichen.

Die Ergänzung fehlender Werte erfolgte auf Basis linearer Regressionen mit einem abhängigen Parameter (=Regressor). Als Regressoren wurden die Werte entweder derselben Phase an einer nahe liegenden Station, derselben Phase des Naturraums, der Vor- bzw. Nachphase der gleichen Pflanze an derselben Station oder einer ähnlich terminierten Phase an derselben Station verwendet. Zur Berechnung der fehlenden Werte einer Phase an einer Station wurde jeweils die beste Regression hinsichtlich des Korrelationskoeffizienten ausgewählt.

Da es schwierig ist, Trends anhand einer Station aufgrund der individuellen Beobachterfehler (SCHNELLE 1955) sowie des Einflusses kleinräumiger Standortcharakteristika - wie beispielsweise die Bebauung (RÖTZER 1996) - zu bestimmen, müssen die Stationen zu größeren Einheiten wie Naturräumen zusammengefaßt werden. Für die Internationalen Phänologischen Gärten ergaben sich 11 Naturräume (siehe Tabelle 1).

NR	Name	Mittlere geographische Werte*		
		Breite in °	Länge in °	Höhe m über NN
1	Britische Inseln, Kanalküste	51,6	-3,8	50
2	Nordseeküste, Tieflandstreifen	52,9	10,1	45
3	Ostseeraum	57,2	15,2	53
4	Atlantisches Gebirge	61,9	8,1	38
5	Nordskandinavien	67,1	26,7	148
6	Nördliches Mittelgebirgsland	50,4	8,7	307
7	Südliches Mittelgebirgsland	48,2	8,2	591
8	Alpenvorland	47,8	10,9	603
9	Bayerisches-Böhmisches Mittelgebirge, Karpaten	48,6	15,5	611
10	Großes Ungarisches Tiefland, Donau-Save-Platte	46,0	19,6	152
11	Dinarisches Gebirgsland, Dalmatien	42,9	20,3	601

Tab.1: Naturraumklassifikation der IPGs; *: Mittelwerte der Stationen

In einer ersten Auswertung der IPG-Daten wurde der zeitliche Verlauf des Blühbeginns der Vogelkirsche (*Prunus avium*) in den Naturräumen 1 „Britische Inseln und Kanalküste“ und 9 „Bayerisches-Böhmisches Mittelgebirge und Karpaten“ erstellt (Abbildung 2).

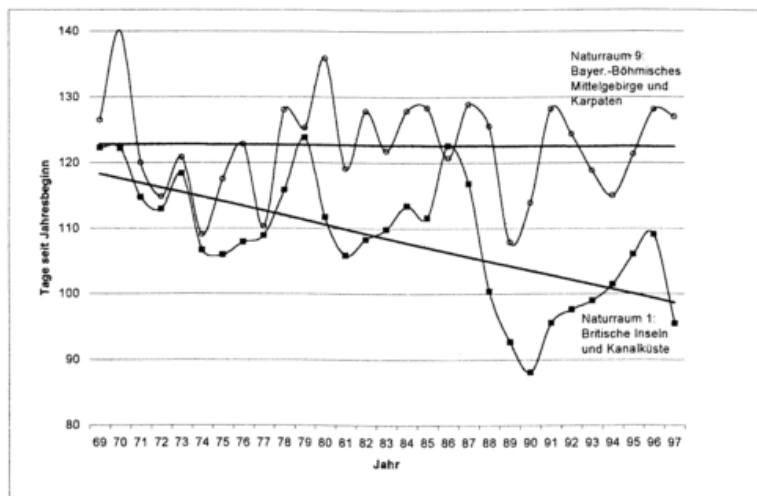


Abb. 2 : Zeitlicher Verlauf des Blühbeginns der Vogelkirsche (*Prunus avium*) in den Naturräumen 1 „Britische Inseln und Kanalküste“ und 2 „Bayerisches-Böhmisches Mittelgebirge und Karpaten“.

Abbildung 2 zeigt, daß die Langfristrends der Vogelkirsche je nach Naturraum deutlich voneinander abweichen. Während in Naturraum 1 eine klare Verfrühung über die Jahre 1968 bis 1997 erkennbar ist, zeichnet sich in Naturraum 9 innerhalb der betrachteten 29 Jahre keine Tendenz ab. Damit wird ein weiterer Nachweis der vielen Aussagen zu phänologischen Langfristrends (LAUSCHER und SCHNELLE 1986; DEFILA 1992; MENZEL 1997; RÖTZER et al. 1997; AHAS 1999) erbracht, die große Unterschiede in den Trends aufzeigen. Zeitliche Verläufe pflanzlicher Entwicklungsphasen müssen deshalb immer in Abhängigkeit der Region und der Jahreszeit betrachtet werden.

4 LITERATUR

- Ahas, R., 1999: Long-term phyto-, ornitho- and ichthyophenological time-series analyses in Estonia. *Int. J. Biometeorol.* 42, S.119-123.
- Defila, C., 1992: Phänologie, ein Indikator für Umweltveränderungen. *Schweiz. Rund. Medizin* 11, S.343-346.
- Lauscher, F., Schnelle, F., 1986: Beiträge zur Phänologie Europas V; Lange phänologische Reihen und ihre Beziehungen zur Temperatur. *Berichte des DWD Nr.169*, Offenbach am Main.
- Kramer, K., 1996: Phenology and growth of European trees in relation to climate change. Thesis Landbouw Universiteit Wageningen.
- Menzel, A., 1997: Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen. *Forstl. Forschungsberichte München Nr. 164*.
- Rötzer, T., 1996: Neuartige Karten der Phänologie und des Wasserhaushalts von Bayern unter Berücksichtigung möglicher künftiger Klimaverhältnisse. Dissertation an der TU München.
- Rötzer, T., Häckel, H., Würländer, R., 1997: *Agrar- und Umweltklimatologischer Atlas von Bayern*. Selbstverlag Deutscher Wetterdienst Weihenstephan.
- Schnelle, F., 1955: *Pflanzen-Phänologie*. Akad. Verlagsgesellschaft, Leipzig.
- Schnelle, F., Volkert, E., 1957: Vorschläge zur Einrichtung Internationaler Phänologischer Gärten als Stationen eines Grundnetzes für internationale phänologische Beobachtungen. *Met. Rundschau* 10/4.

PHENOLOGY AS GLOBAL CHANGE BIOINDICATOR

A. Menzel

Chair of Bioclimatology and Pollution Research of the Ludwig-Maximilians-University,
Am Hochanger 13, D- 85 354 Freising

SUMMARY

The increases in air temperature due to the anthropogenic greenhouse effect can be detected easily in the phenological data of Europe and Germany within the last four decades. Results of phenological model studies reveal that the vegetation period of trees in Central Europe could be further lengthened without an increase in late spring frost risk. The models furthermore clearly attribute the changes in springtime to changes in air temperature.

1 INTRODUCTION

Phenology is the science of seasonal plant and animal activity driven by environmental factors such as leaf unfolding and leaf colouring. Changes from year to year may be a sensitive and easily observable indicator for changes in the biosphere, because the seasonal cycle in cool and temperate zones is mainly triggered by temperature and light (Lechowicz 1995) and only influenced to a minor degree by biotic and abiotic factors, water and nutrient supply as well as genetics (Defila 1991).

2 MATERIAL AND METHODS

On the one hand we have analysed observational data for the 1959 to 1993 period from the International Phenological Gardens (IPG), a Europe-wide network covering a large latitudinal and longitudinal range that has genetically identical clones of trees and shrubs. On the other hand we have analysed data from the phenological network of the German Weather Service for the 1951 to 1996 period, where more than 2000 volunteers observe phenological phases of wild grown plants as well as agricultural plants. In both studies we examined springtime phases such as leaf unfolding and flowering and autumn phases such as leaf colouring and leaf fall of trees.

In order to look for trends that might reflect global warming we calculated linear trends, their significance according to F-test, trend/noise ratio and Mann-Kendall trend test. Significance levels of the F-test and the two other tests were similar, so only the F-test results are shown.

3 RESULTS

From 2419 records of birch leaf unfolding (at least 20 years of observation in the 1951 to 1996 period) in Germany only 462 were significant at the 5% level due to relative high standard deviations. Figure 1 shows all linear trends for leaf unfolding of birch.

Positive and negative trends can be ob-

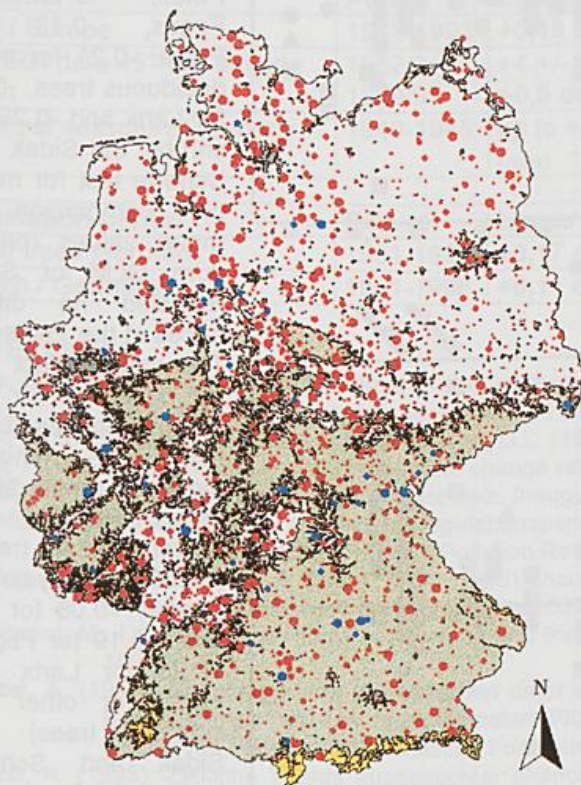


Fig. 1: Trends of birch leaf unfolding (> 20 years of observ.) in Germany

served even at adjacent stations. Further study of this phenomenon may be required. But in order to get a first overview of these linear trends, all trends of a corresponding phase were averaged. The mean linear trends of birch leaf unfolding are -0.14 days / year (all records >20 a), -0.12 (all records >30 a), -0.37 (significant records >20 a) and -0.32 days / year (significant records >30 a). Leaf unfolding of birch and beech as well as may shoot of spruce equally revealed mean negative trends, that means an earlier beginning of spring in the last decades, whereas leaf colouring of beech and birch showed mean positive trends, a delay of autumn in the past few decades (Menzel 1998, Estrella 1999).

An extended growing season in Europe was recently described by Menzel and Fabian (1999): Their analysis of observational data from the International Phenological Gardens (IPG) revealed that spring events, such as leaf unfolding, have advanced by 6 days (-0.20 days / year), whereas autumn events, such as leaf colouring, have been delayed by 4.8 days ($+0.16$ days / year). Thus, the average annual growing season has lengthened by 10.8 days since the early 1960s.

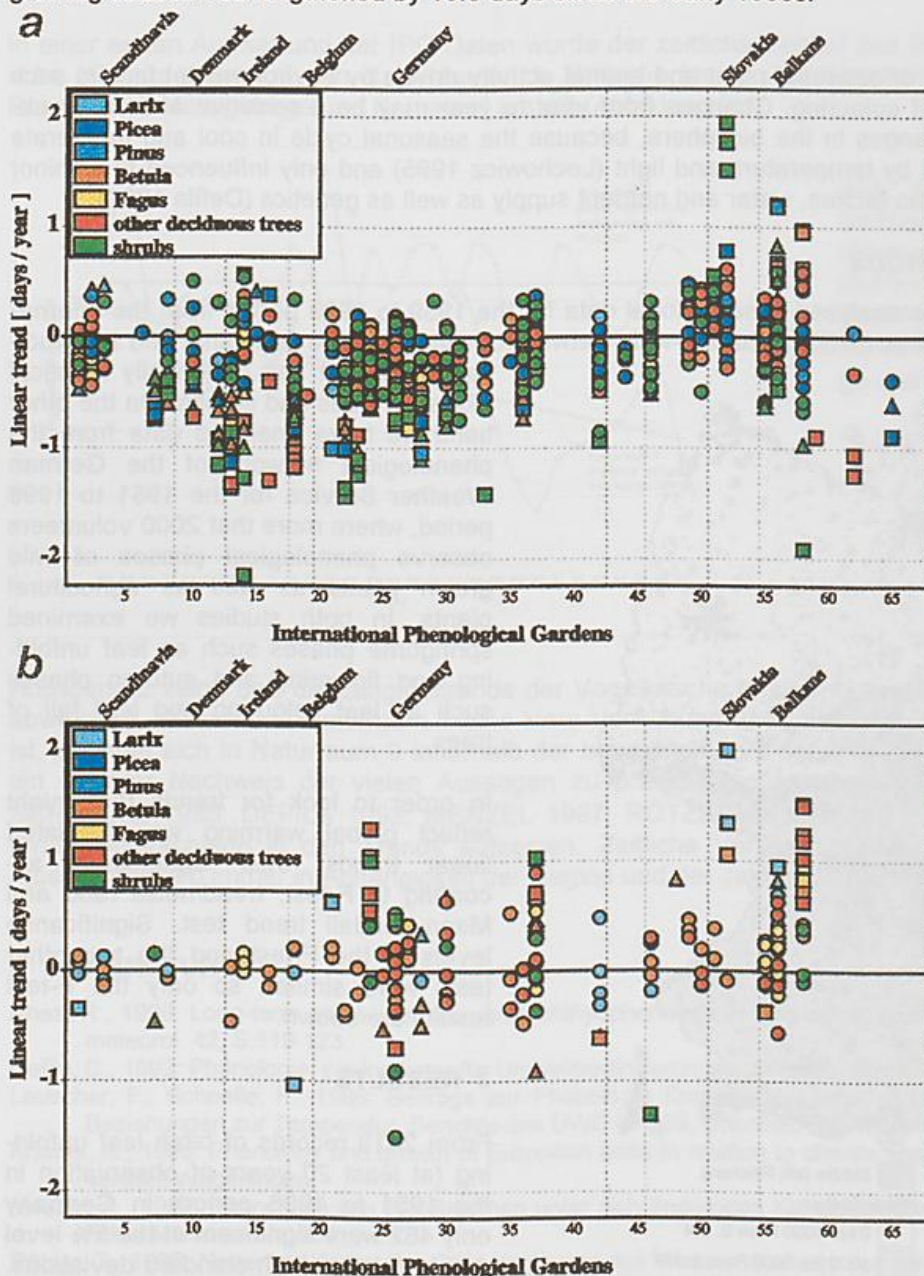


Fig. 2 shows in addition to this study that there is hardly a difference between the observed trends for springtime phases (a) of different species.

Although the mean linear trends range from -0.07 days / year for Betula, -0.08 for Pinus, -0.10 for Fagus, -0.13 for Picea, -0.21 for other deciduous trees, -0.22 for Larix and -0.29 for shrubs, the Sidak and Scheffe test for multiple comparison of mean values (procedure GLM of SAS) revealed no differences at the 1% level. The same effect can be observed for the autumn phases (b) in the IPGs. Although there are small differences for the observed linear trends ($+0.00$ days / year for shrubs, $+0.06$ for Betula, $+0.19$ for Fagus, $+0.23$ for Larix and $+0.27$ for other deciduous trees) the Sidak and Scheffe tests didn't reveal significant differences between mean linear trends for these groups.

Fig. 2: Linear trends of phenological phases. Data are for long observational series (20 years and more) during the 1959-1993 period. Colour of the points represents species or species group. The symbol denotes the significance of the trend: \square significant at the 1% level, Δ significant at the 5% level and \circ not significant at the 5% level. a) spring phases (including leaf unfolding, may shoot, flowering); b) autumn phases (including leaf colouring, leaf fall)

Our results for Europe and Germany of a lengthened growing season are supported by several regional phenological studies as well as by studies analysing the plant activity by indirect methods (see review of literature in Table 1).

Table 1: Changes in the vegetation period in the northern hemisphere (review)

Spring	Period	Linear trend	Author
IPG / Europe	1959-1993	-0,20 days / year	Menzel 1997
IPG / North & Central Europe	1959-1993	-0,31 days/ year	Menzel 1997
IPG / Germany	1959-1993	-0,31 days / year	Menzel 1997
Flowering locust tree / Hungary	1851-1994	from -3 to -8 days (total)	Walkovszky 1998
Plant flowering, migrant birds, spawning of fishes / Estonia	1952-1996	from -0,11 to -0,34 days / year	Ahas 1999
Arrival of migrant birds / UK	1966-1996	Trend towards earliness	Sparks 1999
Egg-laying of birds / UK	1971-1995	31% of species sign. earlier	Crick et al. 1997
Egg-laying of birds / UK	1939-1995	53 % of the birds earlier through the 80s and 90s	Crick & Sparks 1999
May shoot spruce / Germany	1951-1996	-0,10 days / year	Menzel 1998
CO ₂ -record (Mauna Loa)	1970-1994	-0,28 days / year	Keeling et al. 1996
CO ₂ -records (Pt. Barrow)	1975-1994	-0,20 days/ year	Keeling et al. 1996
AVHRR data 45°- 70° latitude north	1982/3-1989/90	-8 +/- 3 days (total) -1,0 days/ year	Myneni et al. 1997
Thermal seasons / Germany	1949-1985	up to -0,38 days / year (max)	Rapp & Schönwiese 1994

Autumn	Period	Linear trend	Author
IPG / Europe	1959-1993	+0,16 days/ year	Menzel 1997
AVHRR data 45°-70° latitude north	1982/3-1989/90	+4 +/- 2 days (total) +0,5 days / year	Myneni et al. 1997
Thermal seasons / Germany	1949-1985	up to +0,32 days / year (max)	Rapp & Schönwiese 1994

Vegetation period	Period	Linear trend	Author
Birch tree / Germany	1951-1996	+0,17 days / year	Menzel 1998
Beech / Germany	1951-1996	+0,11 days / year	Menzel 1998

REFERENCES

- Ahas, R. (1999): Long-term phyto-, ornitho- and ichthyophenological time-series analyses in Estonia. *International Journal of Biometeorology* 42 (3), 119-123.
- Crick, H. Q. P., Dudley, C., Glue, D.E., Thomson, D.L. (1997): UK birds are laying eggs earlier. *Nature* 388:526.
- Crick, H. Q. P. & Sparks, T. H. (1999): Climate change related to egg-laying trends. *Nature* 399, p.423-424.
- Defila, C. (1991): Pflanzenphänologie der Schweiz. Inaugural-Dissertation an der Universität Zürich.
- Estrella, N. (1999): Trends der forstlichen Vegetationsperiode von 1951-1996 in Deutschland. Diploma thesis at the Chair of Bioclimatology and Pollution Research, Univ. of Munich, in press.
- Keeling, C. D., Chin, F. J. S. & Whorf, T. P. (1996): Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements. *Nature* 382, 146-149.
- Lechowicz, M. J. (1995): Seasonality of flowering and fruiting in temperate forest trees. *Can. J. of Bot.* 73, 175-182.
- Menzel, A. (1997): Phänologie von Waldbäumen unter sich ändernden Klimabedingungen - Auswertung der Beobachtungen in den Internationalen Phänologischen Gärten und Möglichkeiten der Modellierung von Phänodaten. *Forstliche Forschungsberichte Nr. 164*, München.
- Menzel, A. (1998): Zeitliche Trends ausgesuchter phänologischer Phasen in Deutschland aus dem Zeitraum 1951-1996. Unveröff. Bericht an den Deutschen Wetterdienst.
- Menzel, A. & Fabian, P. (1999): Growing season extended in Europe. *Nature* 397, 659.
- Myneni, R. B., Keeling, C. D., Tucker, C. J., Asrar, G. & Nemani, R. R. (1997): Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature* 386, 698-702.
- Rapp, J. & Schönwiese, C.-D. (1994): "Thermische Jahreszeiten" als anschauliche Charakteristik klimatischer Trends. *Meteorologische Zeitschrift* 3 (2), 91-94.
- Sparks, T. H. (1999): Phenology and the changing pattern of bird migration in Britain. *International Journal of Biometeorology* 42 (3), 134-138.
- Walkovszky, A. (1998): Changes in phenology of the locust tree (*Robinia pseudoacacia* L.) in Hungary. *International Journal of Biometeorology* 41, 155-160.

QUANTIFIZIERUNG DER NEBELDEPOSITION FÜR FICHTENWÄLDER IN DEN HOCHLAGEN DES OSTERZGEBIRGES

Lothar Zimmermann

IHM-Meteorologie, TU Dresden, Piennner Straße 9, D-01737 Tharandt

Jetzt: Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Am Hochanger 11, D-85354 Freising

Zusammenfassung

Um die Nebeldeposition von Fichtenbeständen in den Kammlagen des Osterzgebirges zu quantifizieren, wurde eine Wasserhaushaltsbilanzierung eines kleinen bewaldeten Einzugsgebietes vorgenommen und mit Ergebnissen eines Tröpfchendepositionsmodell verglichen. Dabei zeigte sich eine gute Übereinstimmung in der über den gesamten zweijährigen Untersuchungszeitraum deponierten Nebelmenge. Unterschiede zeigte die Verteilung zwischen beiden Jahren, die auf mögliche Unsicherheiten bei der Ermittlung der einzelnen Wasserhaushaltsgrößen oder auf lokalklimatische Besonderheiten bei der Nebelbildung zurückzuführen sind. Im Vergleich mit einem anderen Mittelgebirgsstandort erscheinen die Nebeldepositionen plausibel und machen rd. 10-14 % des Niederschlags aus.

Einleitung

In den Hochlagen der Mittelgebirge mit ihrer dominierenden Baumart Fichte trägt die Auskämmung von Nebel zum Niederschlagsinput für den Wasserhaushalt bei. Betroffen sind Mittelgebirgslagen oberhalb 600 m relativ zum umgebenen Flachland. Mit zunehmender Höhe nimmt die feuchte Deposition zu und erreicht die höchsten Werte in den Gipfellagen. Untersuchungen ergaben dort bei einer Nebelhäufigkeit von 30% der Stunden das die Wolkenwasserinterzeption ungefähr dem Eintrag durch fallenden Niederschlag entspricht (Pahl 1996). Der Nebelbeitrag stellt speziell für Fichtenwälder in höheren Mittelgebirgslagen eine nicht zu vernachlässigende Größe dar, wenn Wasser- und Stoffhaushalt bewaldeter Einzugsgebiete betrachtet werden. Da die Nebeldeposition stark von der Akzeptoroberfläche und der durch sie mitgeprägten Turbulenz abhängig ist, erfassen Nebelsammler wie bspw. der *Grunow'sche* immer nur eine relative, gerätespezifische Menge (Baumgartner 1958). In einem Untersuchungsgebiet im Mittelgebirge sollen deshalb zwei Methoden zur Quantifizierung des Nebelniederschlags für Fichtenstandorte vorgestellt und miteinander verglichen werden.

Standorte

Die Untersuchungsstandorte (Zinnwald-Georgenfeld: 50° 44,0', 13°45,3', 877 m ü. NN, Oberbärenburg: 50° 47,16', 13° 42,22', 735 m ü. NN, sowie in 1 km Entfernung nordöstlich von Oberbärenburg das Einzugsgebiet Rotherdbach, 690-740 m ü. NN, 2,97 ha) befinden sich in den Hochlagen des Osterzgebirges. An der DWD-Klimastation Zinnwald-Georgenfeld beträgt der mittlere Jahresniederschlag 978 mm (1961-90) und die Jahrestemperatur liegt bei 4,3°C. Der Niederschlag weist ein sommerliches Hauptmaximum und ein winterliches Nebenmaximum auf. Die mittlere Schwankung der Monatsmittelwerte der Temperatur Juli – Januar beträgt 18,1 K. Temperaturschwankung und Niederschlagsverteilung weisen auf einen kontinental-atlantischen Klimaübergangsbereich hin. In Zinnwald wurden im Mittel zwischen 1971-1997 (ohne 1979 und 1990) 200 Nebeltage im Jahr registriert. Da die Untersuchungsstandorte Oberbärenburg und Rotherdbach rund 130 m niedriger als Zinnwald liegen, machen sich entsprechende Gradienten in Temperatur und Niederschlag bemerkbar. Die mittlere Jahrestemperatur in Oberbärenburg beträgt 5,5°C und der mittlere Jahresniederschlag 996 mm (Sambale 1998). In Oberbärenburg und im vollständig bewaldeten Einzugsgebiet Rotherdbach 2 stoken Fichtenbestände (*Picea abies* [L.] Karst.), die 43 bzw. 90 Jahre alt sind.

Material und Methoden

Eine Möglichkeit die Nebeldeposition über einen längeren Zeitabschnitt (1 Jahr) und auf einen größeren Landschaftsauschnitt bezogen zu quantifizieren, stellt die Messung von Niederschlag, Abfluß und Bodenfeuchteänderung eines hydrologisch dichten Einzugsgebietes dar. Durch Umstellung der Wasserhaushaltsgleichung kann das Restglied Verdunstung mit der direkt über dem Bestand gemessenen ECEB-Verdunstung verglichen werden. Die ECEB-Methode stellt im Vergleich mit anderen mikrometeorologischen Methoden die genaueste Methode dar, um die Verdunstung über rauhen Waldbeständen zu erfassen (Vogt 1995). Beim Vergleich des Restgliedes (P-R) eines bewaldeten Einzugsgebietes mit einer nahegelegenen ECEB-Messung der Verdunstung (Amiro & Wuschke 1987) über einem

Fichtenbestand in den unteren, nebelarmen Lagen des Osterzgebirges (320-420 m ü. NN) war trotz unterschiedlicher Skalen der beiden Meßansätze eine gute Übereinstimmung sichtbar (Frühauf et al. 1998). Falls sich größere Abweichungen dabei in nebelreicher Lage ergeben, können diese auf eine Erhöhung der ECEB-Verdunstung durch Nebelauskämmung zurückgeführt werden.

In Oberbärenburg erfolgte die Messung von Strahlungsbilanz R_N und Strom fühlbarer Wärme H über dem Bestand auf einem Meßturm mittels Pyrradiometer bzw. Thermoelement und 3D-Propelleranemometer. Der Bodenwärmestrom G wird mittels Bodenwärmeleitplatten in der Nähe des Turmfusses erfaßt. Die Verdunstung wird als Strom latenter Wärme als Restglied aus der Energiebilanz bestimmt. Im Einzugsgebiet Rotherdbach 2 wird der Abfluß mit einem Thomson-Dreieckswehr gemessen, der Niederschlag mit einer OTT-Niederschlagswaage. Die Messung der Bodenfeuchte erfolgt in drei Bodenprofilen in unterschiedlichen Tiefen mit TDR-Sonden (Sambale 1998).

Als weitere Methode die Nebeldeposition zu quantifizieren wurde ein eindimensionales, stationäres Tröpfchendepositionsmodell verwendet, das von Pahl (1996) für deutsche Mittelgebirgslagen modifiziert wurde. Das Modell berechnet den Depositionsfluß aus einem Gradientenansatz, der den aerodynamischen Widerstand sowie Sedimentations- und Impaktionswiderstände berücksichtigt, die für einen 60jährigen Fichtenmodellbestand abgeleitet wurden. Eingangsgrößen für das Modell stellen die Windgeschwindigkeit über dem Bestand sowie Flüssigwassergehalt und Tröpfchengrößenverteilung in der Luft dar. Die Tropfengrößenverteilung kann für gegebene Flüssigwassergehalte über gemessene Verteilungen abgeleitet werden, so daß die Herleitung des Flüssigwassergehaltes aus der meteorologischen Standardinformation Sichtweite zur zentralen Parametrisierung des Modells wird. Ein ereignisbezogener Vergleich von modellierten Depositionsmengen mit Kronentraufen wies auf eine Unterschätzung der tatsächlich im Bestand gemessenen Mengen durch das Modell hin (Pahl 1996). Für Zinnwald lagen die stündlichen Inputgrößen vor und wurden für die Modellrechnung verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

Um Unsicherheiten in der Schneedeckenspeicherung zu vermeiden, wurde das Wasserhaushaltsjahres (1.5.-30.4.) als Betrachtungszeitraum gewählt.

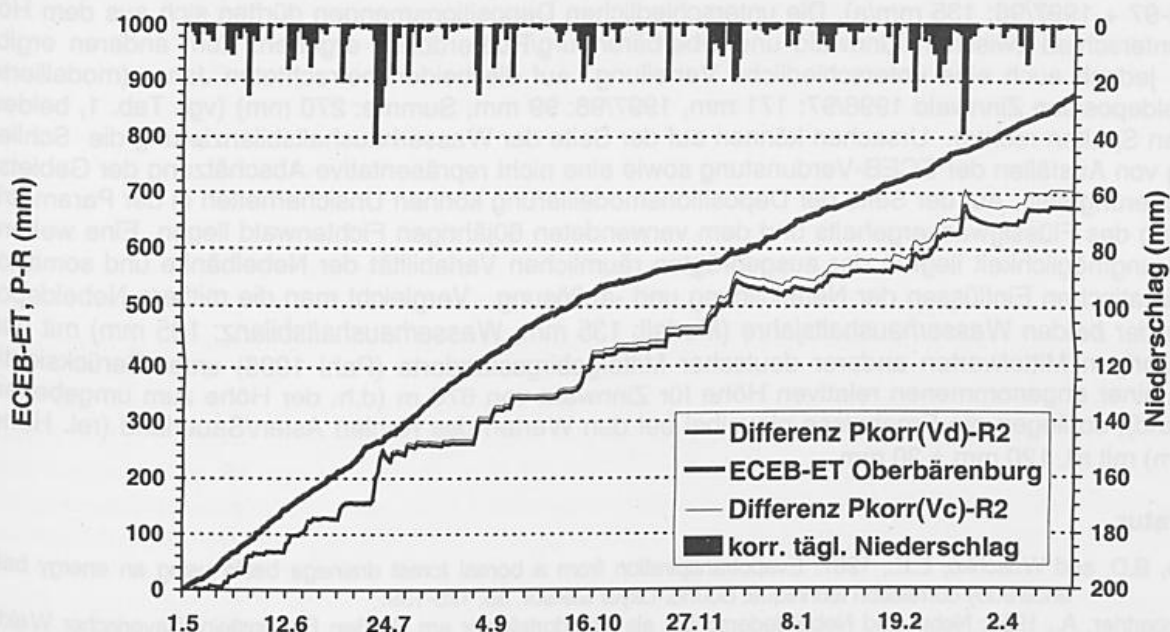


Abb. 1: Kumulierte ECEB-Verdunstung Oberbärenburg und kumulierte Differenz zwischen korrigiertem Niederschlag und Abfluß (Pkorr(VD)-R2) aus Einzugsgebiet Rotherdbach 2, oben: Tagessummen korr. Niederschlag Rotherdbach, Wasserhaushaltsjahr (1.5.97-30.4.98).

In beiden betrachteten Wasserhaushaltsjahren zeigte sich eine Unterschätzung der ECEB-Verdunstung aus dem Restglied (P-R) (Abb. 1), auch wenn die Bodenfeuchteänderung in den betreffenden Jahren noch berücksichtigt wurde (Tab. 1). Diese Unterschätzung wird auf den zusätzlichen Eintrag über Nebeldeposition zurückgeführt. Im folgenden werden mögliche weitere Einflußfaktoren auf das Ergebnis diskutiert. Bei der Wasserhaushaltsuntersuchung wird wegen der systematischen Unterschätzung des Niederschlags dieser korrigiert. Hierzu wurden die Monatsfaktoren nach Richter (1995) für den Hellmann-Regenmesser verwendet, wodurch sich auch das gegenläufige Verhalten der beiden Windschutzkorrekturen (Vc und Vd) 1996/97 zu 1997/98 erklärt.

Tab.1: Wasserhaushaltkomponenten in den Wasserhaushaltsjahren für das Einzugsgebiet Rotherdbach 2.

WHJ 1.5.- 30.4.	Nieder- schlag P _{unkorr.}	Nieder- schlag P _{korrr._Vd}	Nieder- schlag P _{korrr._Vc}	Ab- fluß Ge- biet 2 R	Boden- feuchte- ände- rung ΔS	Rest- glied Vd ET = P _{korrr._Vd} -R- ΔS	Rest- glied Vc ET = P _{korrr._Vc} -R- ΔS	Ver- dun- stung ECEB- ET	Nebel- deposition Vd Fog = ECEB- ET - Rest- glied-ET Vd	Nebel- deposition Vc Fog = ECEB- ET - Rest- glied-ET Vc
1996 /97	1050	1144	1123	470	+ 25	649	628	717	68	89
1997 /98	923	1009	1040	334	- 50	725	756	876	151	120
Ge- samt	1973	2153	2163	806	-25	1374	1384	1593	219	209

Durch eine unterschiedliche Niederschlagsverteilung in den Jahren beeinflussen die monatlichen Korrekturen die Niederschlagsmengen unterschiedlich. Die Verwendung monatlicher Korrekturfaktoren erscheint jedoch sinnvoller als die pauschale Anwendung einer Jahreskorrektur, die die bekannte Saisonalität des Niederschlagsfehlers nicht berücksichtigt. Die beiden Korrekturen wurden angegeben, um den möglichen Fehlereinfluß der Korrektur angesichts Unsicherheiten bei der Bestimmung des Schutzes des Meßstandortes und durch die Verwendung eines Meßgeräts mit kleinerem Fehler (Niederschlagswaage) abzuschätzen.

Die Wasserhaushaltsbilanzierung zeigt zum einen eine ähnliche Größe für die Nebeldeposition (Mittel 1996-97 + 1997/98: 105 mm/a) wie die modellierte Nebeldeposition für den selben Zeitraum (Mittel 1996-97 + 1997/98: 135 mm/a). Die unterschiedlichen Depositionsmengen dürften sich aus dem Höhenunterschied zwischen Zinnwald und Oberbärenburg/Rotherdbach ergeben. Zum anderen ergibt sich jedoch auch eine unterschiedliche Verteilung auf die beiden betrachteten Jahre (modellerte Nebeldeposition Zinnwald 1996/97: 171 mm, 1997/98: 99 mm, Summe: 270 mm) (vgl. Tab. 1, beiden letzten Spalten rechts). Ursachen können auf der Seite der Wasserhaushaltsbilanzierung die Schließung von Ausfällen der ECEB-Verdunstung sowie eine nicht repräsentative Abschätzung der Gebiets-speicherung sein. Auf der Seite der Depositionsmodellierung können Unsicherheiten in der Parametrisierung des Flüssigwassergehalts und dem verwendeten 60jährigen Fichtenwald liegen. Eine weitere Erklärungsmöglichkeit liegt in der ausgeprägten räumlichen Variabilität der Nebelbänke und somit lokalklimatischen Einflüssen der Nebelbildung und -auflösung. Vergleicht man die mittlere Nebeldeposition der beiden Wasserhaushaltsjahre (Modell: 135 mm, Wasserhaushaltsbilanz: 105 mm) mit den langjährigen Mittelwerten anderer deutscher Mittelgebirgsstandorte (Pahl 1996) unter Berücksichtigung einer angenommenen relativen Höhe für Zinnwald von 670 m (d.h. der Höhe zum umgebenen Umland), so liegen die Ergebnisse plausibel bei den Werten des Kahlen Asten/Sauerland (rel. Höhe 640 m) mit rd. 120 mm ± 30 mm.

Literatur

- Amiro, B.D. and Wuschke, E.E., 1987: Evapotranspiration from a boreal forest drainage basin using an energy balance/eddy correlation technique. *Bound.-Layer Meteor.* 38, 125-139.
- Baumgartner, A., 1958: Nebel und Nebelniederschlag als Standortfaktor am Großen Falkenstein (Bayerischer Wald). *Forstw. Cbl.* 77, 257-272.
- Frühauf, C., Zimmermann, L. u. C. Bernhofer, 1998: Comparison of forest evapotranspiration from ECEB measurements over a spruce forest with the water budget of a catchment. *Phys. Chem. Earth* (angenommen).
- Pahl, S., 1996: Feuchte Deposition auf Nadelwäldern in den Hochlagen der Mittelgebirge. DWD-Ber.198.
- Richter, D., 1995: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Meßfehlers des Hellmann-Niederschlagsmessers. *Mitt. d. Dt. Wetterdienstes* Bd.194.
- Sambale, C., 1998: Experimentelle und modellgestützte Wasserhaushaltsuntersuchungen im System Boden-Pflanze-Atmosphäre. Internationales Hochschulinstitut Zittau, IHI-Schriften 8, Diss. 119 S.
- Vogt, R., 1995: Theorie, Technik und Analyse der experimentellen Flußbestimmung am Beispiel des Hartheimer Kiefernwaldes. *Stratus* 3, Geograph. Inst. d. Univ. Basel, MCR Lab.

Danksagung: Diese Arbeit wurde gefördert durch das BMBF-Projekt ERZ "Waldumbau Osterzgebirge" (0339464A,B) und durch einen Werkvertrag mit dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie. Beim DWD möchte ich mich für die Überlassung von Daten und des Tröpfchendepositionsmodells, besonders bei Herrn Dr. Winkler und Frau Dr. Pahl, bedanken.

DIE DEPOSITIONSGESCHWINDIGKEIT VON PARTIKELN FÜR EINEN FICHTENBESTAND

Margarida C. Marques

Institut für Bioklimatologie, Universität Göttingen

Die Stoffhaushalte sowohl von Waldökosystemen als auch von der Atmosphäre hängen wesentlich von den Stofftransferraten zwischen Atmosphäre und Wäldern ab. Die Eintragsraten durch die Trockene Deposition von Gasen und Partikeln können für Wälder bisher nur ganz grob quantifiziert werden und unterscheiden sich teilweise um eine Größenordnung. Für einen Fichtenbestand im Solling wurde deshalb auf ganz unterschiedliche Weise die Partikeldepositionsrate bestimmt: mit der Nettokronentraufe-Methode, mit der zeitlichen Änderung der Anzahldichte auf Nadeloberflächen abgelagerter Partikel, mit dem Abwaschen von Fichtentrieben und mit dem Nachweis der Tschernobyl-Radioaktivität im Wald. Die mit der Luftkonzentration normierte Depositionsrate – die Depositionsgeschwindigkeit – wurde als Funktion der Partikelgröße und der Windgeschwindigkeit bestimmt. Es zeigte sich, daß die Depositionsgeschwindigkeit für Partikel ein Minimum im Bereich der großen Teilchen ($\sim 0,5 \mu\text{m}$ Radius) aufweist.

Die Ergebnisse der einzelnen Studien geben den relativen Verlauf der Partikeldepositionsgeschwindigkeit sehr gut wieder. Absolut streuen sie um etwa den Faktor 2. Die Beiträge der Partikel-Trockendeposition zu der gesamten Trockendeposition bzw. Gesamtdeposition können für die S- und N-Komponenten nicht vernachlässigt werden. Diese Anteile zeigen, daß die Partikeldeposition im Stoffhaushalt von Waldökosystemen eine wichtige Rolle spielen. Diese Anteile können jedoch noch nicht exakt angegeben werden, da sowohl die trockene Deposition von Partikeln als auch von Gasen nur sehr schwer zu erfassen ist.

VERDUNSTUNG EINES BEWALDETEN HANGES

H. Mayer, J. Fritsch und A. Matzarakis
Meteorologisches Institut der Universität Freiburg,
Werderring 10, 79085 Freiburg

ZUSAMMENFASSUNG

Die Verdunstung des mit Altlichten bestockten NNE-Hanges am ARINUS-Standort Schluchsee in den Hochlagen des Südschwarzwaldes wurde in den Vegetationsperioden 1995 und 1996 über verschiedene Methoden ermittelt. Obwohl sie sich prinzipiell in ihren zeitlichen und räumlichen Scales unterscheiden, lassen sich die daraus erzielten Ergebnisse vergleichen. Unter der Annahme, daß die über die gekoppelte Kovarianz-Energiebilanz-Methode (KEM) bestimmte Verdunstung am wenigsten von der tatsächlichen Verdunstung abweicht, läßt sich die Verdunstung des bewaldeten Hanges sehr gut über das Wasserhaushaltsmodell WBS3 simulieren, weil die Unterschiede zwischen der Verdunstung nach KEM und WBS3 äußerst klein sind. Die Abschätzung der Verdunstung des bewaldeten Hanges über den Haude-Ansatz ist nicht zufriedenstellend, weil er insbesondere bei Strahlungswetterlagen die energetischen Verdunstungsbedingungen deutlich unterschätzt.

1 EINLEITUNG

Aufgrund der fundamentalen Bedeutung der Verdunstung im Energie- und Wasserhaushalt von Wäldern besteht großes Interesse an ihrer experimentellen und modellmäßigen Erfassung. Beim interdisziplinären, forstökologischen Projekt ARINUS (Auswirkungen von Restabilisierungsmaßnahmen und Immissionen auf den N- und S-Haushalt der Öko- und Hydrosphäre von Schwarzwaldstandorten, Raspe et al. 1998) war die Bestimmung der Verdunstung des bewaldeten Hanges am Standort Schluchsee eine zentrale Aufgabe (Mayer und Fritsch, 1996), da sie als wesentliche Komponente im Wasserhaushalt des Ökosystems einen direkten Einfluß auf Stoffumsetzungs- und Stofftransportprozesse und somit auf die daraus resultierenden biochemischen Wechselwirkungsprozesse hat.

2 METHODIK

Zur Bestimmung der Verdunstung von Wäldern gibt es verschiedene Verfahren. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse wird jedoch dadurch erschwert, daß die jeweils zugrundeliegenden Verfahren unterschiedliche Voraussetzungen aufweisen und sich auf verschiedene zeitliche und räumliche Scales beziehen.

An dem mit Altlichten (40 bis 60 Jahre) bestockten Hang (Hangrichtung: NNE, Hangneigung: ca. 20°) am ARINUS-Standort Schluchsee in den Hochlagen des Südschwarzwaldes (ca. 1150 m ü. NN; mittlere jährliche Lufttemperatur im Zeitraum 1961 bis 1990: 5.5 °C; mittlere jährliche Niederschlagssumme im Zeitraum 1961 bis 1990: 1885 mm) wurde die Verdunstung nach verschiedenen Methoden experimentell und modellmäßig untersucht (Fritsch, 1998; Raspe et al., 1998), von denen hier auf folgende näher eingegangen wird: (1) Bestimmung der Verdunstung (E_{korr}) auf der Grundlage der Kovarianz-Energiebilanz-Methode (KEM), wobei die auftretende Schließungslücke in der Energiebilanzgleichung über ein spezielles Verfahren (FRITSCH 1998) korrigiert und die daraus resultierende Verdunstung mit E_{korr} bezeichnet wurde; (2) Bestimmung der potentiellen Verdunstung (E_{Haude}) nach dem Haude-Ansatz, modifiziert für Höhe und Waldbestockung; (3) Bestimmung der Transpiration (T_{xyl}) über Xylemsaftfluß-Messungen an repräsentativen Bäumen mit Sensoren nach Granier; (4) Simulation von Verdunstung (E_{WHNSIM}) und Transpiration (T_{WHNSIM}) über das Bodenwasserhaushaltsmodell WHNSIM; (5) Simulation von Verdunstung (E_{WBS3}) und Transpiration (T_{WBS3}) über das Wasserhaushaltsmodell WBS3.

3 ERGEBNISSE

In beiden Untersuchungsperioden (Juni bis Oktober 1995 und 1996) wurden die Tagessummen von E_{korr} maßgeblich durch das Energieangebot in Form der hangparallelen Strahlungsbilanz gesteuert

(Abb. 1 für die Untersuchungsperiode 1996). Die Einflüsse von Lufttemperatur und Sättigungsdefizit waren demgegenüber deutlich schwächer ausgeprägt.

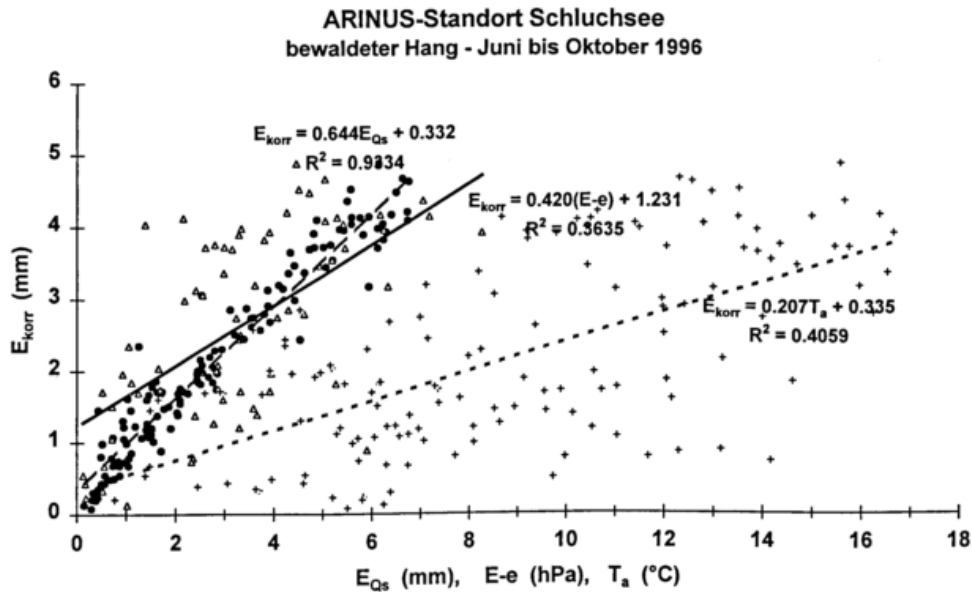


Abb. 1: Regressionen zwischen den Tagessummen der Verdunstung E_{korr} einerseits und den Tagessummen des Verdunstungsäquivalents der hangparallelen Strahlungsbilanz E_{Qs} sowie den Tagesmittelwerten des Sättigungsdefizites ($E-e$) und der Lufttemperatur T_a andererseits für den bewaldeten Hang am ARINUS-Standort Schluchsee von Juni bis Oktober 1996

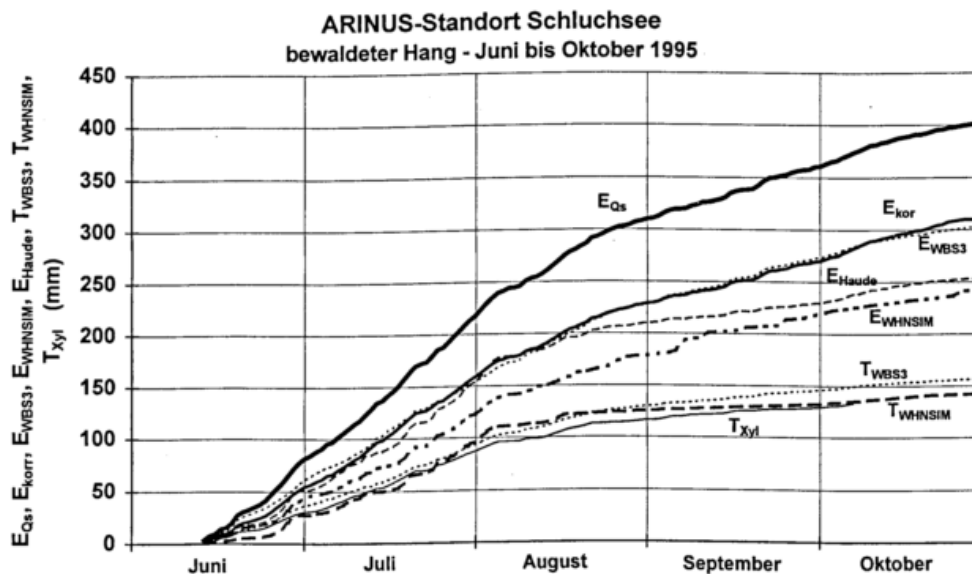


Abb. 2: Kumulative Tagessummen der Verdunstung (E_{Qs} : Verdunstungsäquivalent der hangparallelen Strahlungsbilanz, E_{korr} : Verdunstung aus der Energiebilanz, E_{WBS3} : Verdunstung nach dem Modell WBS3, E_{Haude} : Verdunstung nach dem Haude-Ansatz, E_{WHNSIM} : Verdunstung nach dem Modell WHNSIM, T_{WBS3} : Transpiration nach dem Modell WBS3, T_{WHNSIM} : Transpiration nach dem Modell WHNSIM, T_{Xyl} : Transpiration aus Xylemsaftfluß-Messungen) des bewaldeten Hanges am ARINUS-Standort Schluchsee vom 14. Juni bis zum 31. Oktober 1995

Aus dem Vergleich der über die verschiedenen Verfahren bestimmten Verdunstungswerte (kumulative Tagessummen in der Untersuchungsperiode 1995 in der Abb. 2; Monatssummen in beiden Untersuchungsperioden in der Tab. 1) folgt, daß E_{korr} und E_{WBS3} gut übereinstimmen. Damit ist das relativ einfache Modell WBS3 (Schmidt, 1990), das an das Untersuchungsgebiet angepaßt war, viele gutachterliche Annahmen enthält und als Eingangsparameter aber nur den Tagesmittelwert der Lufttemperatur

und die Tagessumme des Freilandniederschlages benötigt, gut zur langfristigen Simulation der Verdunstung geeignet.

Tab. 1: Monatssummen der nach verschiedenen Methoden bestimmten Verdunstung (in mm) sowie Monatssummen des Freilandniederschlages N (in mm) des bewaldeten Hanges am ARINUS-Standort Schluchsee in den Untersuchungszeiträumen 1995 und 1996

	$E_{Qs}^{1)}$	$E_{korr}^{1)}$	$E_{WBS3}^{1)}$	$E_{WHNSIM}^{1)}$	$E_{haude}^{1)}$	$T_{WBS3}^{1)}$	$T_{WHNSIM}^{1)}$	$T_{Xyl}^{1)}$	N
Juni 1995	72	47	51	38	48	32	26	27	78
Juni 1996	69	47	48	44	41	31	27	18	135
Juli 1995	137	105	94	80	99	58	65	56	91
Juli 1996	125	94	90	81	77	56	52	35	124
Aug. 1995	98	75	78	60	61	39	33	32	156
Aug. 1996	95	73	79	59	60	37	28	27	139
Sep. 1995	50	41	44	37	20	16	7	13	195
Sep. 1996	63	48	44	29	30	21	14	13	71
Okt. 1995	43	42	32	26	25	11	11	6	48
Okt. 1996	28	27	20	31	18	6	7	2	134
$\Sigma 1995$	400	310	299	241	253	156	142	134	568
$\Sigma 1996$	380	289	281	244	226	151	128	94	603

¹⁾ jeweils 14. bis 30. Juni

Die potentielle Verdunstung nach dem Haude-Ansatz (E_{Haude}) lag am Ende beider Untersuchungszeiträume um ca. 20 % unter E_{korr} . Der jahreszeitlichen Variabilität der Verdunstung wird im Haude-Ansatz durch empirisch gewonnene Monatsfaktoren Rechnung getragen. Es wird hierbei zugrunde gelegt, daß das Sättigungsdefizit von der Lufttemperatur gesteuert wird, die wiederum von den Strahlungsverhältnissen abhängt. Die im Untersuchungszeitraum 1995 ab etwa Mitte August, im Untersuchungszeitraum 1996 aber schon an Anfang Juli einsetzende Divergenz zwischen E_{korr} bzw. E_{WBS3} und E_{Haude} ist möglicherweise auf die ungenügende Berücksichtigung des Strahlungseinflusses im Haude-Ansatz zurückzuführen.

LITERATUR

- Fritsch, J., 1998: Energiebilanz und Verdunstung eines bewaldeten Hanges im Hochschwarzwald. Ber. Meteorol. Inst. Univ. Freiburg Nr. 1.
- Mayer, H., Fritsch, J., 1996: Verdunstung eines bewaldeten Hanges am ARINUS-Standort Schluchsee. FZKA-PEF Bericht 142, 27-43.
- Raspe, S., Feger, K.H., Zöttl, H.W., 1998: Ökosystemforschung im Schwarzwald. Auswirkungen von atmosphärischen Einträgen und Restabilisierungsmaßnahmen auf den Wasser- und Stoffhaushalt von Fichtenwäldern. Verbundprojekt ARINUS. Landsberg, ecomed Verlag.
- Schmidt, J., 1990: Überlegungen zur Erfassung und Beschreibung von Wachstumsgängen am Beispiel der Durchmesserzuwachsentwicklung der letzten Jahrzehnte von Fichtenbeständen in Bayern unter besonderer Berücksichtigung witterungsbedingter Zuwachsreaktionen. Forstl. Forschungsber. München Nr. 104.

TURBULENTER LUFTMASSENAUSTAUSCH ÜBER EINEM KIEFERNWALD

M. Kohler, A. Matzarakis und H. Mayer
Meteorologisches Institut der Universität Freiburg,
Werderring 10, 79085 Freiburg

ZUSAMMENFASSUNG

In der Arbeitsgruppe C des Leitthemas 2 innerhalb des Troposphärenforschungsprogrammes wird u.a. der turbulente Luftmassenaustausch über dem Kiefernwald an der Forstmeteorologischen Meßstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg untersucht. Als exemplarische Ergebnisse werden hier die Flüsse von Ozon und Kohlendioxid an zwei Strahlungstagen im Juni 1998 analysiert, die über die Eddy-Correlation-Methode ermittelt wurden.

1 EINLEITUNG

Die Untersuchung der Interaktionen zwischen Atmosphäre und Vegetation, speziell Wäldern, ist in den letzten Jahren zunehmend in den Blickpunkt des wissenschaftlichen Interesses getreten (u.a. Kelliher et al., 1999). Zum einem wurde die Bedeutung einiger Stoffkreisläufe, bezogen z.B. auf biogene Kohlenwasserstoffe und Ozon, neu bewertet; zum anderen bieten erst technische Weiterentwicklungen im Bereich der Sensor- und Analysetechnik die Möglichkeit, Komponenten dieser Stoffkreisläufe genauer zu messen.

Die Arbeitsgruppe C des Leitthemas 2 innerhalb des Troposphärenforschungsprogrammes beschäftigt sich mit der Bestimmung von Quellstärken flüchtiger organischer Verbindungen für Waldökosysteme. Darin ist das Forschungsvorhaben des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg über den turbulenten Luftmassenaustausch zur Flußbestimmung von Spurenstoffen über einem Kiefernwald eingebunden.

Beim Kiefernwald handelt es sich um den Hartheimer Gemeindewald, in dessen Mitte sich die Forstmeteorologische Meßstelle des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg befindet. Die Meßstelle, an der seit ca. 25 Jahren kontinuierliche Messungen aller meteorologischen und hydrologischen Größen des Energie- und Wasserhaushaltes des Kiefernwaldes durchgeführt werden (Kessler und Jaeger, 1999) und die dafür zwei Meßtürme mit Bestandeshöhe bzw. doppelter Bestandeshöhe aufweist, liegt in einer Höhe von 202 m ü. NN ca. 23 km südwestlich von Freiburg im Oberrheingraben. Der Bestand besteht aus 35-jährigen Kiefern (*Pinus sylvestris*) mit einer Bestandesdichte von ca. 4000 Bäumen/ha und einer Bestandeshöhe von ca. 15 m. Der Überschirmungsgrad beträgt 0.65, der mittlere Brusthöhendurchmesser streut zwischen 7.3 und 27.3 cm. Der Hartheimer Kiefernwald kann als relativ homogen betrachtet werden, der 'Fetch' in Hauptwindrichtung beträgt ca. 700 m.

2 ZIELSETZUNG

Dieses Forschungsvorhaben hat neben der Unterstützung der im Hartheimer Kiefernwald arbeitenden auswärtigen Forschergruppen folgende Ziele:

- a) retrospektive Bestimmung der Kenngrößen des Luftmassenaustausches (Rauhigkeitslänge, Verdrängungshöhe, Schubspannungsgeschwindigkeit und vertikaler Austauschkoefizient für Impuls), um ihre Abhängigkeit von Höhenwachstum des Kiefernwaldes und durchgeführten Durchforstungsmaßnahmen zu untersuchen,
- b) aktuelle Bestimmung dieser Kenngrößen sowie der turbulenten Flüsse fühlbarer und latenter Wärme, von Kohlendioxid und Ozon über dem Hartheimer Kiefernwald mit Hilfe der Eddy-Correlation-Methode; hierzu stehen geeignete Daten seit Mai 1998 zur Verfügung.

Im folgenden werden exemplarische Ergebnisse aus dem Teil b) präsentiert.

3 MESSANORDNUNG

Die Eddy-Correlation-Messungen erfolgen auf dem kleinen Meßturm, der temporär auf 21 m erhöht worden ist, in einer Höhe von 6 m über dem Bestand. Verwendet werden ein Ultraschallanemometer USAT3 der Firma METEK, ein „schneller,“ Ozonsensor OS-G-2 (Firma GFAS) zur Bestimmung der Ozonflüsse auf Chemilumineszenz-Basis und ein „langsamer,“ Ozonsensor O341M (Firma Environne-

ment) zur Bestimmung des Absolutwertes von Ozon (UV-Absorption). Die Wasserdampf- und Kohlendioxidflüsse werden über ein LICOR 6262 System nach der Infrarot-Absorptionsmethode bestimmt.

4 ERGEBNISSE

Die hier diskutierten Ergebnisse beziehen sich auf den 5. und 6. Juni 1998, die als Strahlungstage einzustufen sind. Mai und Juni 1998 waren durch niedrige Niederschlagswerte in Hartheim gekennzeichnet. So fielen im Mai 1998 nur 39 % der mittleren Niederschlagsmenge im Mai an dieser Meßstelle, so daß der Kiefernwald an der Forstmeteorologischen Meßstelle Hartheim am 5. und 6. Juni 1998 Trockenstreßbedingungen ausgesetzt war.

Die Globalstrahlung erreichte an beiden Untersuchungstagen maximale Stundenmittelwerte von 870 W m^{-2} . In 6 m Höhe über dem Kiefernwald lagen die stündlichen Maxima der Lufttemperatur bei 31°C , des Dampfdrucks bei 20 hPa und des Sättigungsdefizits bei 31 hPa (Abb. 1). Am 6. Juni 1998 zog um die Mittagszeit Haufenbewölkung auf und in der Region kam es vereinzelt zu Gewittern. Insgesamt war es an beiden Tagen schwachwindig mit Windgeschwindigkeiten unter 1.5 m s^{-1} .

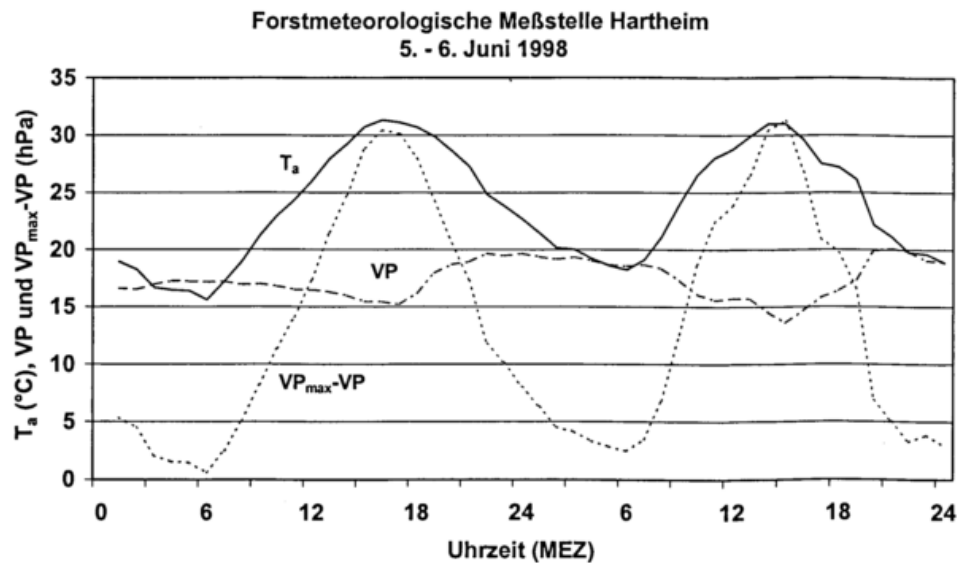


Abb. 1: Lufttemperatur T_a , Dampfdruck VP und Sättigungsdefizit $VP_{\max}-VP$ am 5. und 6. Juni 1998 in 21 m Höhe über Grund, d.h. 6 m über dem Kiefernwald (*Pinus sylvestris*), an der Forstmeteorologischen Meßstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg

Der maximale Stundenmittelwert der Ozonkonzentration betrug am 5. Juni ca. $200 \mu\text{g m}^{-3}$. Die aufziehende Bewölkung verhinderte am 6. Juni eine ähnlich hohe Ozon-Konzentration in den Nachmittagsstunden. Die CO_2 -Konzentration zeigte den typischen Verlauf mit tagsüber reduzierten Werten infolge der Photosynthese und höheren Werten nachts, bedingt durch die Respiration des Kiefernwaldes. In der nächtlichen stabilen Schichtung über dem Wald war eine beträchtliche Zunahme der CO_2 -Konzentration bis nahe 500 ppm (Stundenmittelwert) zu finden.

Bei der Analyse des Einflusses der gemessenen meteorologischen Größen auf die Spurengasflüsse über dem Kiefernwald konnte für den Ozonfluß nur ein Zusammenhang mit der Globalstrahlung ermittelt werden (Abb. 2). Solch ein Zusammenhang ergab sich auch für den Kohlendioxidfluß, jedoch ließ sich zusätzlich ein Einfluß durch das Sättigungsdefizit nachweisen. Er ist in der Abb. 3 über die Größe der Kreise angegeben, die für Klassen von 5 hPa Intervallen des Sättigungsdefizits stehen (Klassenbezeichnung: jeweilige Intervallobergrenze). Die Abb. 3 zeigt, daß im Prinzip die Beträge der Kohlendioxidflüsse mit zunehmender Globalstrahlung ansteigen; bei größerem Sättigungsdefizit werden sie jedoch drastisch reduziert (bis zu 80 %).

Forstmeteorologische Meßstelle Hartheim
5. - 6. Juni 1998

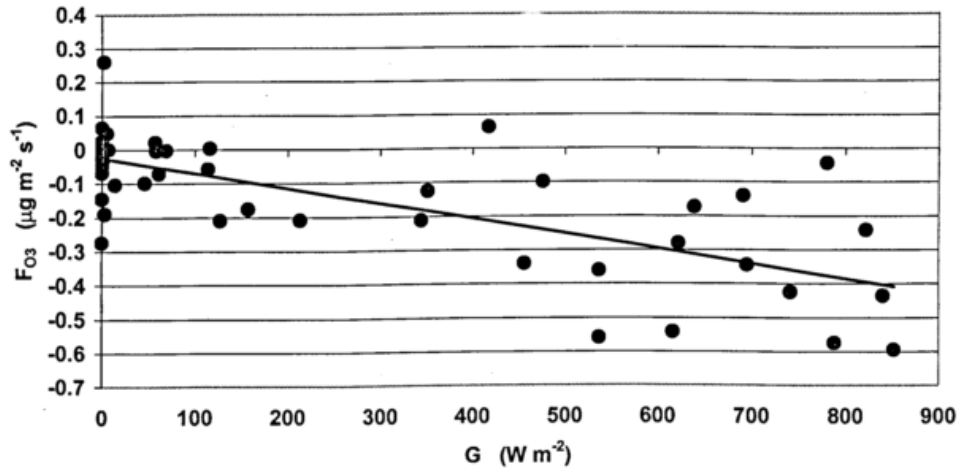


Abb. 2: Ozonfluß F_{O_3} in Abhängigkeit von der Globalstrahlung G in 6 m Höhe über dem Kiefernwald (*Pinus sylvestris*) an der Forstmeteorologischen Meßstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg

Forstmeteorologische Meßstelle Hartheim
5. - 6. Juni 1998

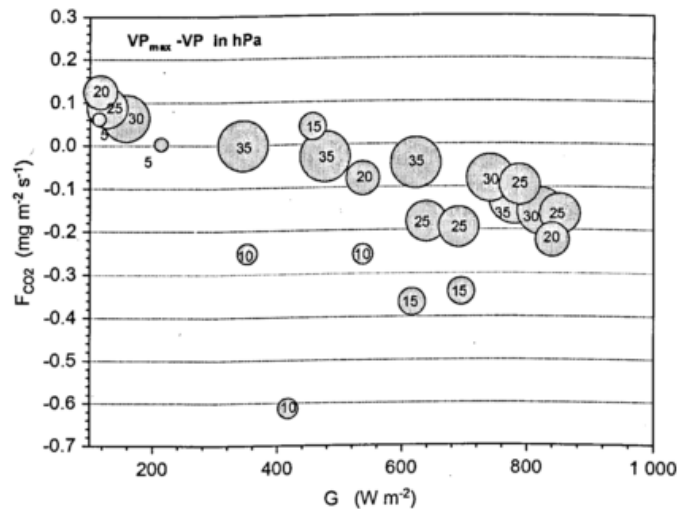


Abb. 3: Kohlendioxidfluß F_{CO_2} in Abhängigkeit von Globalstrahlung G und Sättigungsdefizit $VP_{max} - VP$ in 6 m Höhe über dem Kiefernwald (*Pinus sylvestris*) an der Forstmeteorologischen Meßstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg

LITERATUR

- Kelliher, F.M., Lloyd, J., Arneth, A., Lühker, A., Byers, J.N., McSeveny, T.M., Milukova, I., Grigoriev, S., Panforyov, M., Sogatchev, A., Varlagin, A., Ziegler, W., Bauer, G., Wong, S.-C., Schulze, E.-D., 1999: Carbon dioxide efflux density from the floor of a central Siberian pine forest. *Agric. Forest Meteorol.*, 94, 217-232.
- Kessler, A., Jaeger, L., 1999: Long-term changes in net radiation and its components above a pine forest and a grass surface in Germany. *Int. J. Climatol.*, 19, 211-226.

VERTIKALER AUSTAUSCH IN EINEM FICHTENALTBESTAND

Erik Nützmann, G. Gravenhorst, A. Ibrom, K. Morgenstern
Institut für Bioklimatologie der Georg - August - Universität Göttingen
Büsgenweg 2, 37077 Göttingen

ZUSAMMENFASSUNG

Für die quantitative Beschreibung der Depositions- und Emissionsraten atmosphärischer Spurengase in Waldökosystemen mit Hilfe von Profilmessungen ist es notwendig, die turbulenten Austauschigenschaften in der atmosphärischen Grenzschicht ober- und innerhalb der Waldbestände zu modellieren. Zu diesem Zweck werden im allgemeinen lokale Turbulenzschließungsansätze verwendet (Sellers et al. 1986, Mix et al. 1993, Oltchev et al. 1997).

Messungen zeigen jedoch, daß bei der Durchströmung von Waldbeständen im Stammraum neben den von der Umströmung der Pflanzelemente herrührenden Wirbeln auch Wirbel von der Größenordnung des Bestandes auftreten, somit also nichtlokale Turbulenzeffekte. Solche Effekte können mit lokalen Turbulenzschließungsansätzen nicht erfaßt werden. Nach den Messungen ergibt sich ein Größenspektrum von in einer Höhe gleichzeitig wirkenden Wirbeln, welches als Ursache für die häufig zu beobachtenden Flüsse gegen den lokalen vertikalen Eigenschaftsgradienten (counter - gradient - Flüsse) angesehen wird.

Um diese Flüsse erfassen zu können, wurde ein eindimensionales Grenzschichtmodell aufgebaut und an einen Fichtenaltbestand im Solling - Gebirge südwestlich von Hannover angepaßt, in dem ein nichtlokaler Austauschansatz verwendet wird.

1 EINLEITUNG

Bei dem verwendeten Schließungsansatz handelt es sich um eine nach Inclán et al. für Waldbestände modifizierte Schließung nach der Transilienten Turbulenztheorie von Stull (Stull 1996, Inclán et al. 1996).

Im Gegensatz zu den lokalen Turbulenzschließungsverfahren, werden bei der Transilienten Turbulenzschließung keine Austauschkoeffizienten, sondern eine Austauschmatrix (Transilienzmatrix) verwendet. Das Wort "transilient" bedeutet überspringen und erinnert damit an die nichtlokale Form dieses Schließungsverfahrens. Betrachtet man den Vorgang der turbulenten Durchmischung in einem vertikal aufgelösten "raum"-zeitlich diskretisierten Modell während des Zeitschrittes Δt , dann ergibt sich der Zustand S der Variable in der Gitterzelle i (im folgenden Zielschicht genannt) zum Zeitpunkt $t + \Delta t$ als:

$$S_i(t + \Delta t) = \sum_{j=1}^N c_{ij}(t, \Delta t) S_j(t) .$$

N ist die Gesamtanzahl der Modellschichten und c_{ij} sind die Elemente der Transilienzmatrix mit der Dimension $N \times N$. Insoweit ähnelt die Transiliente Turbulenzschließung dem aus der Statistik bekannten Markov - Prozeß. Die Bestimmung der Koeffizienten c_{ij} basiert auf einer nichtlokalen Interpretation der Turbulenzenergie.

2 ERGEBNISSE

Anhand der Modellrechnungen zeigte sich, daß dieses Turbulenzschließungsverfahren prinzipiell in der Lage zu sein scheint, den turbulenten Austausch in und über einem Waldbestand im Solling qualitativ richtig widerzugeben. Trotz einiger Probleme bei der realistischen Wiedergabe der gemessenen Profile der Windgeschwindigkeit im Kronenraum stimmen die modellierten Impulsflüsse

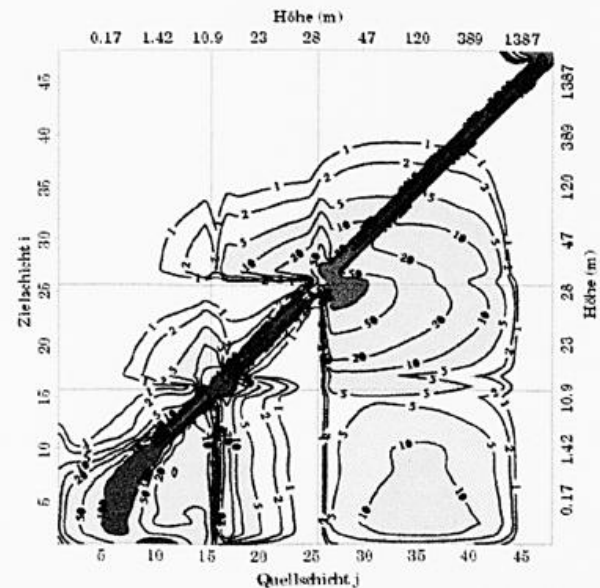


Abb. 1: Typische Transilienzmatrix für den Waldbestand im Solling um die Mittagszeit

direkt über dem Bestand bei instationärer Rechnung sehr gut mit den Daten von Eddy - Kovarianzmessungen überein. Wie ein Vergleich mit den Modellergebnissen eines bei gleicher Modellphysik mit lokaler Turbulenzschließung (K - Schließung) arbeitenden Modells an einem Beispieltag gezeigt hat, wurde der Impulsfluß über dem Bestand vom K - Schließungsmodell betragsmäßig überschätzt, während die vom transilienten Modell berechneten Werte besser mit den Messungen übereinstimmten. Die fühlbaren Wärmeflüsse werden von beiden Modellen in den instationären Rechnungen gut wiedergegeben. Bei den latenten Wärmeflüssen werden die Werte vom instationären transilienten Modell jedoch meist unterschätzt, während das K - Schließungsmodell eher zu einer Überschätzung neigt.

Bei den berechneten Profilen der turbulenten Eigenschaftsflüsse von Impuls, fühlbarer und latenter Wärme hat sich gezeigt, daß das Modell auf der Basis der lokalen Turbulenzschließung erwartungsgemäß prinzipiell keine Flüsse gegen den lokalen Gradienten innerhalb des Bestandes modellieren kann. Beim transilienten Schließungsansatz ist dies sehr wohl möglich. Insbesondere beim vertikalen Transport von Impuls ergibt sich eine prinzipielle Übereinstimmung mit einem negativen turbulenten Diffusi-onskoeffizienten im Stammraum als Analogon zu den Flüssen gegen den lokalen Gradienten.

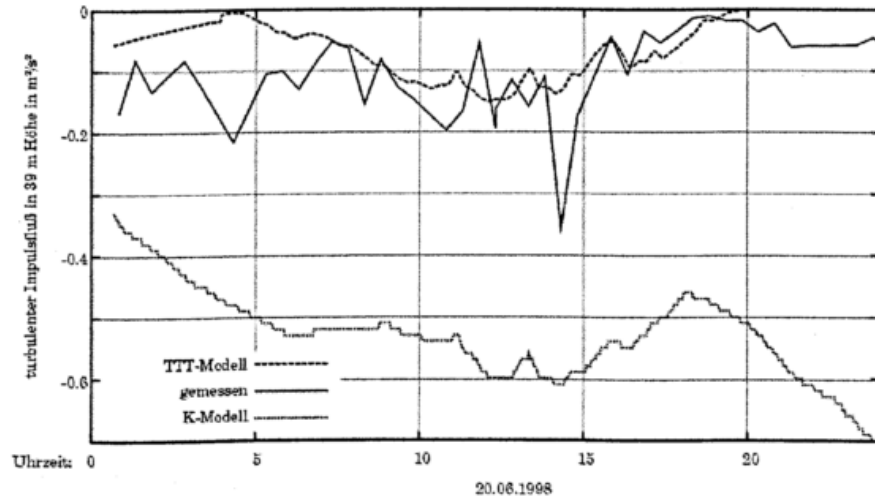


Abb. 2: Mit dem lokalen Schließungsmodell (K-Modell) und dem transilienten Schließungsmodell (TTT-Modell) berechnete vertikale Impulsflüsse in 39 m Höhe über dem Bestand im Vergleich mit den Messungen (Eddy-Korrelationssystem) für den 20.06.1998.

Die mit dem transilienten Modell durchgeführten stationären Rechnungen haben prinzipiell schlechtere Ergebnisse geliefert, als die instationären Rechnungen. So werden die berechneten turbulenten Flüsse über dem Bestand für alle betrachteten Größen betragsmäßig zu allen Tageszeiten deutlich unterschätzt.

Eine Erweiterung des Modells auch auf andere atmosphärische Prozesse, z.B. CO₂ - Flüsse wird zeigen, inwieweit sich die Modellergebnisse bei der Verwendung des transilienten Schließungsansatzes gegenüber dem K - Schließungsansatz verbessern.

3 LITERATUR

- Inclán, M. G., Forkel, R. and Dlugi R., 1996: Application of Transilient Turbulent Theory to study interactions between the atmospheric boundary-layer and forest canopies, BLM, 79, 315 - 344.
- Mix, W., Goldberg, V., Bernhardt, K.-H., 1994: Numerical experiments with different approaches for boundary layer modeling under large-area forest canopy conditions, Met. Zeits., N. F., 3, 187 - 192.
- Oltchev, A., Constantin, J., Gravenhorst, G., Ibrom, A., 1997: A six-layer SVAT model for a simulation of water vapour and sensible heat fluxes in a spruce forest, J. Hydrol. Hydrom., 45, 1 - 2, 5 - 37.
- Sellers, P. J., Sud, Y. C., Dalcher, A., 1986: A simple biosphere model (SIB) for use in general circulation models, J. Atmos. Sci., 43, 505 - 531.
- Stull, R. B., 1996: Lecture notes for the Transilient Turbulence Workshop, held at the Institut of Bioclimatology, Göttingen University, Germany, May 1996.

CHARAKTERISIERUNG DER TURBULENTEN DIFFUSION IM STAMMRAUM EINES FICHTENBESTANDES

Kai Morgenstern, Matthias Falk, Sascha Oltchev, Andreas Ibrom, Gode Gravenhorst
Institut für Bioklimatologie
Büsgenweg 2, 37081 Göttingen

ZUSAMMENFASSUNG

Das Institut für Bioklimatologie betreibt im Solling seit 1995 Eddykorrelationsmessungen zur Bestimmung der Kohlenstoffbilanz des dortigen Fichtenbestandes. Die hier vorgestellten Messungen turbulenter Flüsse im Stammraum fanden von Januar 1997 bis August 1998 statt. Es werden die für den Bestandesraum typischen Energiebilanzen und die charakteristische Form der Turbulenzspektren beschrieben. Letztere sind vor allem durch den Kurzschluß der Wirbelkaskade durch die Baumstämme gekennzeichnet. Schließlich werden die vom Eddykorrelationssystem gemessenen CO₂-Flüsse mit unabhängigen Haubenmessungen verglichen.

1. MESS-SYSTEME UND STANDORT

Der Fichtenbestand im Solling wurde 1888 gepflanzt. Seine mittlere Höhe beträgt 30 m, die Höhe des Stammraums, in dem keine Nadeln mehr wachsen, reicht bis ca. 15 m. Die Baumdicke beträgt 461 Stämme pro Hektar bei einem mittleren Brusthöhendurchmesser von 37 cm. Das Klima des Solling ist mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 6.6 °C und 1045 mm Niederschlag subozeanisch-hochmontan.

Um sowohl die Nettokohlenstoffbilanz als auch die Beiträge verschiedener physiologischer Prozesse zu dieser Bilanz zu bestimmen, betreibt unsere Arbeitsgruppe seit 1995 am meteorologischen Meßturm auf der F1-Fläche Eddykorrelations- und Bodenhaubenmessungen. Außerdem stehen am Turm Strahlungsbilanzmessungen (Strahlungsbilanzmesser nach Schnulze, Fa. Dr. Lange, Berlin) in 2 und 39 m Höhe zur Verfügung, von denen der untere zur räumlichen Mittelung über eine Strecke von ca. 10 m bewegt wird. Mit Profilen der Bodentemperatur werden mit Hilfe der Tautochronen Bodenwärmeströme berechnet.

Das am Institut entwickelte Eddykorrelationssystem besteht aus einem METEK-USAT3-Ultraschallanemometer sowie einem Licor Li-6262 Infrarot-Gasanalysator zur Bestimmung der Fluktuationen von Wind, Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und CO₂-Konzentration (Ibrom et al., 1996). Die Ultraschallsonde war auf einem 2 m hohen Mast im Stammraum montiert, der in möglichst großem Abstand zu den umliegenden Bäumen aufgestellt war. Die eingesetzten Gasanalysatoren wurden täglich mit Stickstoff und einem Referenzgas bekannter CO₂-Konzentration kalibriert. Die Luftfeuchtigkeitsmessung wird mit einem kapazitiven Testo-Feuchtefühler überprüft. Das Haubensystem verwendet einen Licor Li-6251 Infrarot-Gasanalysator und bedeckt in einem 30-minütigen Meßzyklus abwechselnd zwei, einen Meter voneinander entfernte Plots mit einer schwenkbaren Haube. Eddykorrelations- und Haubensystem befinden sich ca. 30 m bzw. 15 m westlich vom Meßturm.

2. ENERGIEBILANZEN

Bei jeder Anwendung der Eddykorrelationsmethode stellt sich die Frage nach der Repräsentativität der Ergebnisse für den betrachteten Standort. Diese wird in der Regel unter Stichworten wie Stationarität, Quellgebiet für die gemessene Eigenschaft und spektrale Eigenschaften der Turbulenz behandelt (Baldochi & Meyers, 1988, Constantin et al. 1996, Foken & Wichura, 1996). Ein weiteres Beurteilungskriterium ist die Energiebilanz, die bei Betrachtung aller Energieflüsse null sein muß (Baldochi, 1997; Ibrom et al., 1997). Allerdings würde die Darstellung von Stationaritätstest und Quellgebietsanalysen den Rahmen dieses kurzen Überblicks sprengen. Deshalb sind im folgenden einige ausgewählte Ergebnisse zur Energiebilanz im Stammraum und den spektralen Eigenschaften der Turbulenz dargestellt. Sie erheben aber nicht den Anspruch, alle auftretenden Situationen oder Phänomene vollständig zu beschreiben. Schließlich können die Eddykorrelationsmessungen noch mit den Messungen der Bodenhauben verglichen werden. Im Idealfall wird von den Bodenhauben der

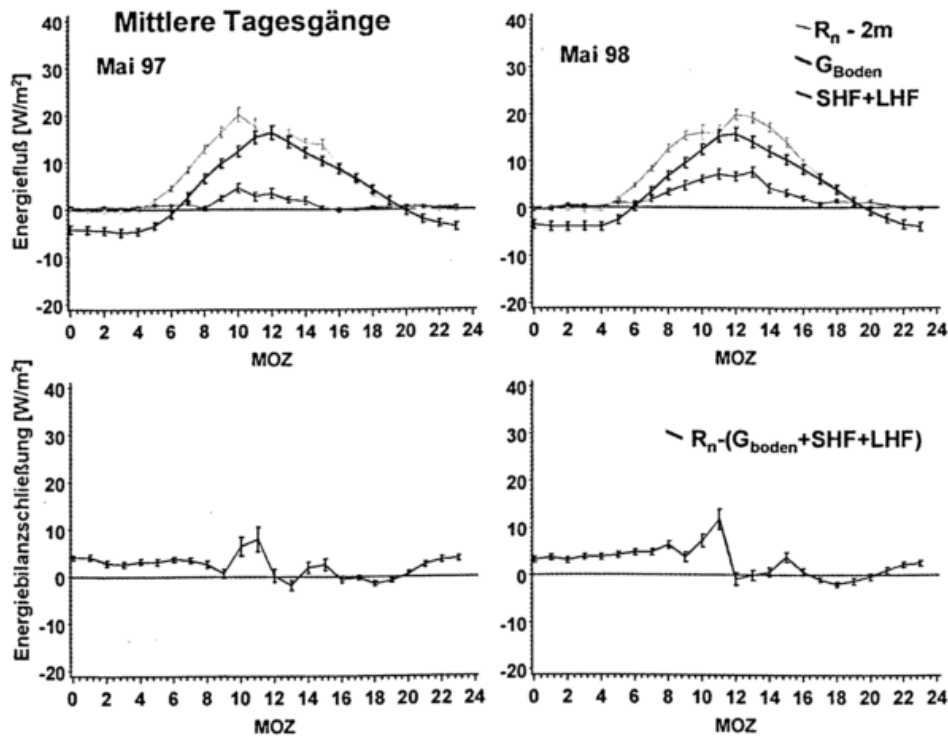


Abbildung 1: Mittlere monatliche Tagesgänge für die Energieströme im Stammraum

CO₂-Fluß gemessen, der auch durch den Bereich des Eddykorrelationssystem in Richtung Krone auftritt.

Ein typisches Bild für die Aufteilung der Energiebilanz in die einzelnen Energieflüsse zeigt Abbildung 1 für die Monate Mai 1997 und 1998. Hier sind im oberen Bildteil die Nettostrahlungsbilanz R_n , der Bodenwärmestrom G_{Boden} (Energieaufnahme positiv) und die Summe der turbulenten Flüsse dargestellt, wie sie vom Eddykorrelationssystem gemessen wurden (SHF: fühlbarer Wärmestrom, LHF: latenter Wärmestrom, positive Werte bedeuten Fluß in Richtung Krone). Typischerweise beträgt die Strahlungsbilanz R_n im Stammraum nur 10% der Strahlungsbilanz über dem Kronenraum. Außerdem geht diese zum ganz überwiegenden Teil in den Bodenwärmestrom, der wiederum im Vergleich zu den Energieströmen oberhalb der Krone keine bedeutende Rolle spielt. Die turbulenten Flüsse im Stammraum machen in den betrachteten Monaten bestenfalls 50% des Bodenwärmestroms aus und selbst im Laufe des Sommers überschreiten sie den Bodenwärmestrom nicht. Die Dominanz des Bodenwärmestroms zeigt sich auch in der Energiebilanzlücke, d.h. der Differenz zwischen zur Verfügung stehender Energie und Bodenwärmestrom plus turbulente Flüsse. Ihr Verlauf zeigt für beide Monate das gleiche Muster: Während der Nacht ist der einzige meßbare Energiestrom der negative Bodenwärmestrom (vgl. Abbildung 1, obere Hälfte). So tritt eine relativ konstante Energielücke von ca. 5 W/m^2 auf (vgl. Abbildung 1, untere Hälfte). Diese nimmt im Verlauf des Vormittags noch etwas zu, da dann schon Energie aus der Strahlung zur Verfügung steht, der Bodenwärmestrom aber aufgrund der Trägheit der Wärmeleitung im Boden noch verzögert auf diese Änderung der Bedingungen reagiert. Nachmittags herrscht dann in etwa eine ausgeglichene Bilanz. Die turbulenten Flüsse beeinflussen dieses charakteristische Muster insofern nicht, als sie im wesentlichen der Strahlungsbilanz folgen. Andererseits gleichen sie die Energiedeckungslücke nicht aus, so daß die Energie, die der Boden nachts an die Waldatmosphäre abgibt, auf andere Weise abgeführt werden muß. Hier kommt vor allem ein von der Eddykorrelation nicht erfaßter advektiver Fluß in Frage.

3. TURBULENZSPEKTREN

Die Struktur der Turbulenz im Stammraum ist vor allem durch die Verteilung der Stämme beeinflusst. So treten charakteristische Abweichungen von den Spektrenformen auf, die für die Turbulenz über dem Bestand als klassisch gelten (Kaimal & Finnigan, 1994). Ein Beispiel dafür ist in Abb. 2 gegeben. Gezeigt werden dort Spektren der Querwindkomponente halbstündiger Zeitreihen vom 21.07.97, von

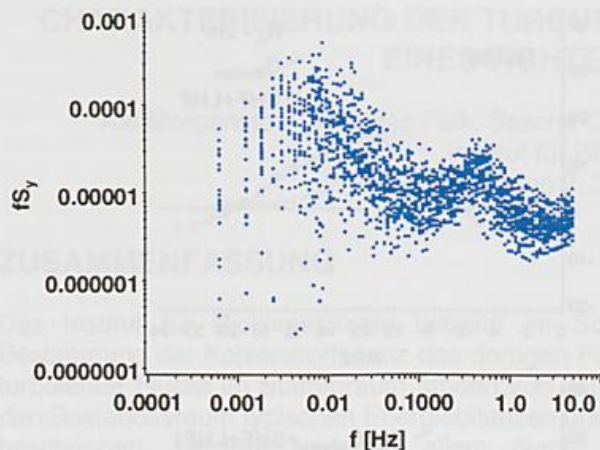


Abbildung 2: 19 halbstündige
Turbulenzspektren der Querwindkomponente

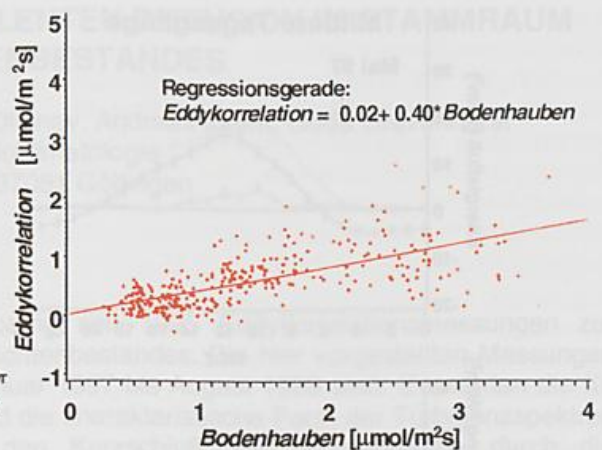


Abbildung 3: Vergleich der CO₂-Flüsse
von Eddykorrelation und Bodenhauben

0 bis 9:30 Uhr. Sie alle weisen einen charakteristischen Peak bei ca. 0.4 Hz auf. Bei einer mittleren Windgeschwindigkeit von $u=0.5$ m/s während dieser Periode entspricht das der Frequenz einer Wirbelstraße, die sich an einem Zylinder mit 26 cm Durchmesser ablöst, was in der Größenordnung des mittleren Brusthöhendurchmessers liegt.

Dies zeigt, daß die Turbulenz im Stammraum nicht in der selben Art und Weise homogen ist wie über dem Bestand. Ein Vergleich mit Standardspektralformen, wie sie z.B. von Kaimal et al. (1972) gewonnen wurden, scheidet daher aus. Andererseits tritt der beobachtete Peak in den Cospektren, die ja die spektrale Struktur des Transportvorgangs beschreiben, nicht auf. Einen Einfluß auf die Flüsse hat die Bildung von Wirbelstraßen also offensichtlich nicht.

4. VERGLEICH VON BODENHAUBENMESSUNGEN UND EDDYKORRELATION

Der Vergleich der von Eddykorrelationssystem und Bodenhauben gemessenen Flüsse zeigt im Mittel deutlich geringere Werte für das Eddykorrelationssystem (siehe Abb. 3, Steigung der Regressionsgeraden $B=0.40$). Die Photosynthese der Bodenvegetation kommt hier als Senke für CO₂ nicht in Frage, da der Boden im F1-Bestand nur wenig bewachsen ist. Auch die räumliche Variabilität der Bodenrespiration, die mit Probemessungen an 18 weiteren Stellen untersucht wurde, kann eine sechzigprozentig Überschätzung des Flusses nicht erklären.

Somit ist dieser Vergleich ähnlich wie die Energiebilanzlücke ein Hinweis darauf, daß die im Stammraum gemessenen turbulenten Flüsse systematisch zu kleine Werte aufweisen und wahrscheinlich advective Flüsse für einen erheblichen Teil des Transports im Stammraum verantwortlich sind.

LITERATUR

- Baldocchi, D. (1997): Flux Footprints within and over Forest Canopies. *Boundary-Layer Meteorology* 85: 273-292.
- Baldocchi, D.D. & Meyers, T.P. (1988): Turbulence structure in a deciduous forest. *Boundary-layer Meteor.* 43: 345-364.
- Foken, T. & Wichura, B. (1996): Tools for quality assessment of surface-based flux measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 78(1-2): 83-105.
- Ibrom, A., Falk, M., Richter, I., Morgenstern, K., Oltchev, A., Constantin, J. & Gravenhorst, G. (1997): Quality Assessment of Eddy Covariance Measurements above a Forest Canopy. Submitted to *Theoretical Applied Climatology*.
- Ibrom, A., Schütz, C., Tworek, T., Morgenstern, K., Oltchev, A., Falk, M., Constantin, J. & Gravenhorst, G. (1996). Eddy-Corelation Measurements of the Fluxes of CO₂ and H₂O above a Spruce Forest. *Phys. Chem. Earth* 21 (5/6): 409-414, 1996.
- Kaimal, J.C. & Finnigan, J.J. (1994): *Atmospheric Boundary Layer Flows: their Structure and Measurement*. New York, Oxford: Oxford University Press.
- Kaimal, J.C., Wyngaard, J.C., Izumi, Y. & Coté, O.R. (1972): Spectral Characteristics of Surface-Layer Turbulence. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 98: 563-589.

PFLANZEN ALS AKZEPTOREN ATMOSHÄRISCHER STOFFFRACHTEN

Ronald Queck
Lehrstuhl für Meteorologie an der TU-Dresden
Piener Straße 9, D-01737 Tharandt

ZUSAMMENFASSUNG

Der Rückgang der Schwefelemission in den letzten Jahren ist leider noch keinesfalls Anlaß für Entwarnung, inzwischen ist Stickstoff und auch Ozon in der überwiegenden Zahl der Wälder zum Störfaktor geworden. Aufbauend auf umfangreichen Messungen in den Hochlagen (Oberbärenburg) und den unteren Lagen (Tharandter Wald) des Osterzgebirges sollen die Bedingungen für Stoffflüsse aus der Atmosphäre in Fichtenbestände analysiert und charakterisiert werden. Ziel ist, die als Summe gemessenen Depositionen durch Differenzierung nach der Depositionform ob gasförmig, abgesetzt (Nebel/Aerosole) oder fallend (Regen/Schnee), unter Verwendung von mikrometeorologischen Messungen zeitlich zu verteilen. Mit dieser Basis können dann, in Kombination mit Tagesgängen anderer Umweltfaktoren (Temperatur, Feuchte, ...), Streßsituationen besser beschrieben werden.

1 EINLEITUNG

Für die Bestimmung von lage- und landnutzungsbezogenen Kennwerten der kritischen Belastbarkeit sind Dynamik und Wege der Deposition von entscheidender Bedeutung (Stichwort „critical loads“). Eine Verbesserung der Methoden zur Depositionsberechnung ist für eine flächendeckende Anwendung notwendig.

Kurzzeitige hohe Belastungen können Waldschäden verursachen, die aus der durchschnittlichen Deposition nicht erklärbar sind. Eine höhere zeitliche Auflösung ist Voraussetzung für eine Einschätzung von atmosphärischen Einflüssen auf Pflanzen.

2 METHODIK

Eine Bestimmung der Depositionsbedingungen muß ereignisabhängig unter Beachtung aller Eintragsformen stattfinden. Aufgrund der wirkenden physikalischen Prozesse wird vorgeschlagen zwischen 3 Formen der Deposition zu unterscheiden:

1. fallende Deposition (Regen, Hagel, Schnee),
2. abgesetzte Deposition (Partikel; Aerosole),
 - ⇒ abgesetzte feuchte Deposition (Nebel),
 - ⇒ abgesetzte trockene Deposition (Stäube),
3. gasförmige trockene Deposition (Moleküle, z.B. SO₂, NO_x,...).

Fallende Deposition: Die Bestimmung von Stofffrachten durch Regen ist unmittelbar durch Messung möglich. Die Depositionsbedingung (hier der Niederschlag) ist dabei hauptsächlich eine Funktion der (Höhen-) Lage und Exposition (Goldberg 1999). Die vertikale Verteilung der Deposition im Bestand lassen sich durch Interzeptionsmodelle behandeln (Rutter et al., 1975).

Abgesetzte Deposition: Der Beitrag der Nebeldepositionen durch hohe Ionenkonzentrationen im Wolkenwasser ist seit langem bekannt. Durch die hohe Variabilität des Eintrages ist jedoch eine Modellierung und quantitative Abschätzung erschwert und Ziel zahlreicher Untersuchungen (Lovett, 1988; Krugman und Winkler, 1989 u.a.). In flächendeckenden Abschätzungen mußte sie bisher jedoch vernachlässigt werden. Von Pahl (1996) konnten die Nebeldepositionen für einzelne Standorte mit einem modifizierten, von Lovett (1988) beschriebenen Widerstandsmodell erfolgreich bestimmt werden.

Die Modellierung der Deposition trockener Aerosole kann prinzipiell wie die der feuchten erfolgen, weshalb sie zur abgesetzten Deposition zusammengefaßt werden.

Gasförmige Deposition: Durch mikrometeorologische Methoden wie die Eddy-Kovarianz- und die Gradientenmethode läßt sich der Gastransport messen. Weiterhin stehen als pflanzenphysiologische Methoden die Xylemflußmessungen und Küvetten- bzw. Kammermessungen für episodische Untersuchungen und Überprüfungen zur Verfügung. Die ausgewählte Eddy-Kovarianz-Methode (EC-Methode) ermöglicht eine direkte Bestimmung der Energie- und Stoffflüsse (Bernhofer, 1992).

Wie auch bei der abgesetzten Deposition läßt sich der Gasaustausch, unter Anwendung der Widerstands analogie, modellieren. Das Bestimmen der Widerstände erfolgt mit Hilfe der EC-Messungen, unter anderem anhand des Wasserdampftransportes, der aufgrund ähnlicher Wege und Depositionsorte (der Stomata) als Modellsubstanz tauglich ist. Neben dem Massentransport läßt sich Wasserdampf zusätzlich durch den Energietransport erfassen. In Abhängigkeit von Strahlung, Temperatur, Dampfdruck, Bodenfeuchte und Wind werden schließlich nichtlineare Funktionen der relevanten Modellwiderstände r_c und r_a parametrisiert (z.B. Stewart, 1988).

Verknüpfung der gewählten Modellansätze: Die notwendige Modellierung der Interaktion von Atmosphäre und Bestandes- bzw. Erdoberfläche erfolgt mit verschiedenen Depositionsansätzen. Durch die erfolgte Diskretisierung der Prozesse ist es möglich, ein Widerstandsnetzwerk aufzubauen, in dem die entsprechenden "Fließwege" durch gemessene Entscheidungsvariablen "eingeschaltet" werden (siehe Abb. 1).

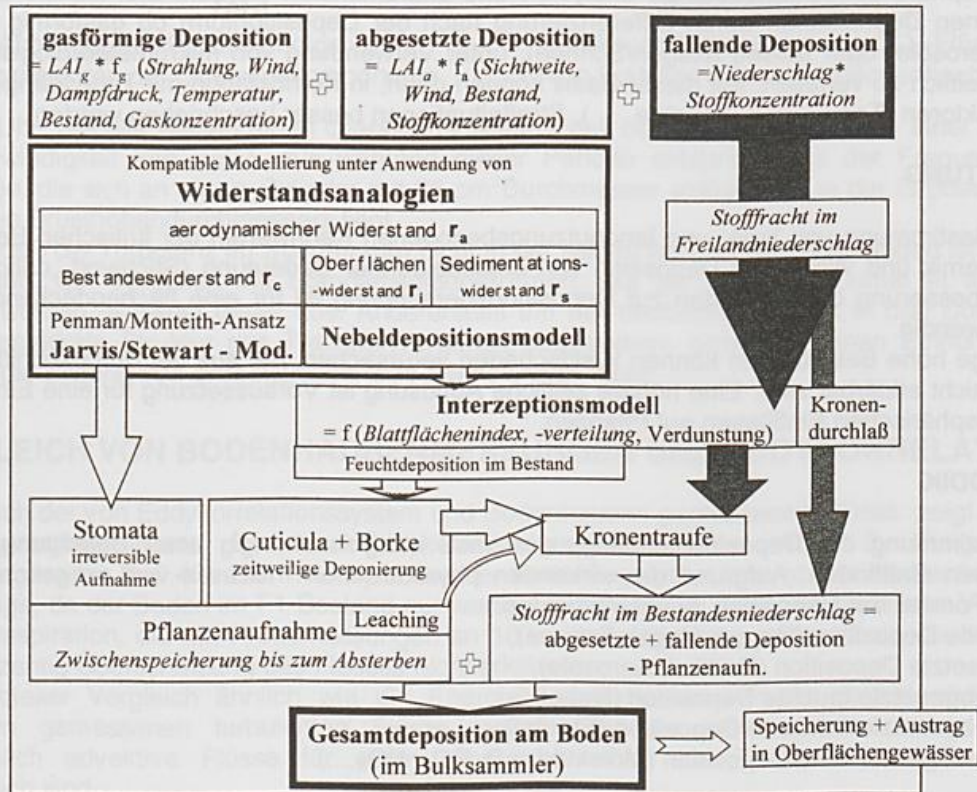


Abb. 1: Verknüpfung der Modellansätze

Experimentalfelder: 2 Fichtenbestände an der Nordabdachung des Osterzgebirges, Oberbärenburg in 735 m ü.NN, d.h. ~ 150m unter dem Kamm des Gebirges, nahe stark geschädigter Waldflächen (Schadstufe 4) bei Zinnwald und die Ankerstation Tharandter Wald in 375 m ü.NN als Vergleichsstandort.

3 ZWISCHENERGEBNISSE

Zur abgesetzten Deposition: Zur Bestimmung der Nebeldeposition werden Flüssigwassergehalt der Luft und Tropfengrößenverteilung oder die Sichtweiten benötigt (siehe Pahl, 1996). Mit Hilfe neuronaler Netze wurde der Versuch unternommen, die Sichtweiten in Abhängigkeit von meteorologischen Standardgrößen zu berechnen (Dähne, 1998). Das Tropfendepositionsmodell reagiert sehr sensitiv auf Änderung der Sichtweiten. Durch die neuronalen Netze konnte jedoch bisher nur eine Nebelidentifikation erreicht werden, in der zwischen 40 bis 70 % Nebelstunden richtig erkannt wurden (85 bis 95 % der Stunden ohne Nebel wurden richtig erkannt).

Im April 1999 konnte ein Flüssigwassergehaltsmessgerät (PVM100; Gerber Scientific Inc.) installiert werden. Dadurch wird zum einen eine Überprüfung des neuronalen Netzes und zum anderen auch eine direkte Quantifizierung der Nebeldeposition durch das Tropfendepositionsmodell möglich. Seit Mai 1999 ist die Nebelstation Oberbärenburg Teil eines internationalen Nebelmeßnetzes (Schemenauer, 1999).

Verdunstung in Oberbärenburg: Voraussetzung für die Ermittlung des größten Widerstandes beim gasförmigen Stofftransport des Bestandeswiderstand r_c ist die Kenntnis der Energiebilanz:

$$L.E = R_n - G - H,$$

mit der Verdunstung $L.E$, der Strahlungsbilanz R_n , dem turbulente Strom fühlbarer Wärme H und dem Bodenwärmestrom G , der auch die Speicheränderung im Bestand enthält.

In Abb. 2 sind die berechneten Energieflüsse wiedergegeben. An der Graphik ist deutlich der Jahresgang der Verdunstung ($L.E$) zu erkennen. Dabei fällt auf, daß nur eine begrenzte Abnahme der Verdunstung im Winter stattfindet. Sie wird hauptsächlich durch den Rückgang der Strahlungsintensität bestimmt. Ein Teil der Verdunstung bleibt unbeeinflusst und über das Jahr relativ konstant. Dieser, durch die Ventilation des Bestandes bestimmte Teil bewirkt auch, die bei ausreichend gefülltem Interzeptionsspeicher, zeitweise sehr hohen zum Bestand hin gerichteten negativen Flüsse der fühlbaren Wärme (H). Neben der direkt gemessenen Blattbefeuchtung ist dies ein Hinweis auf lange Benetzungszeiten, in denen der "stomatäre" Widerstand gegen Null geht und die gasförmige Deposition stark ansteigt.

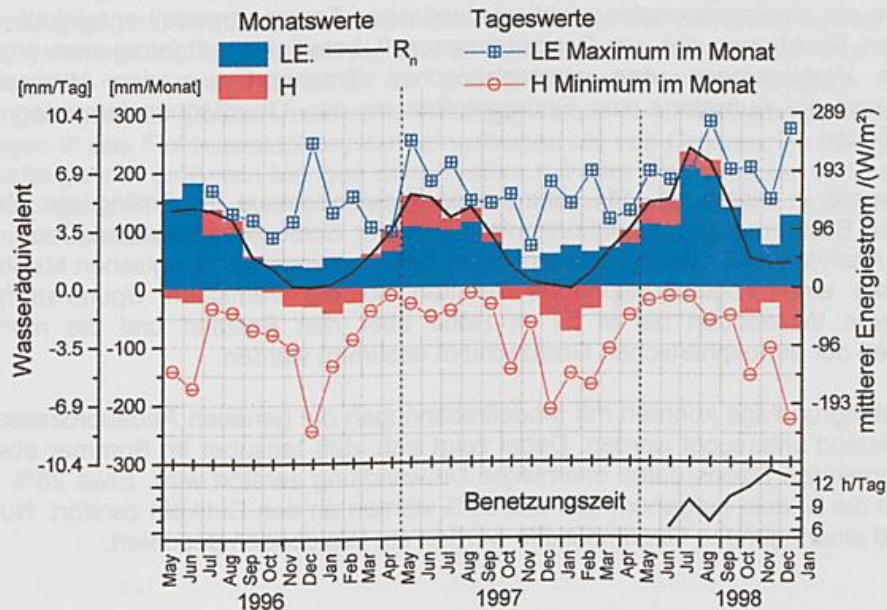


Abb. 2: Energiebilanzgrößen am Standort Oberbärenburg (Beschreibung siehe Text)

4 AUSBLICK

Für die Parametrisierung der Modellwiderstände ist eine differenzierte Erfassung der charakteristischen Depositionsbedingungen notwendig. Aus diesem Grund ist im Herbst 1999 eine Intensivmeßperiode geplant. Mit dem parametrisierten Modell lassen sich dann Depositionen mit reduzierten Meßreihen berechnen.

LITERATUR

- Bernhofer, Ch.; 1992: *Experimentelle Bestimmung von Energieflüssen über Pflanzenbeständen*. Habilitation a.d. Uni. F. Bodenkultur, Wien.
- Dähne, R.; 1999: *Nebeldiagnose mit Hilfe meteorologischer Standarddaten*. DA am Institut f. Hydrologie u. Meteorologie d. TU-Dresden, 63; Dresden.
- Goldberg, V.; 1999: *Zur Regionalisierung des Klimas in den Hochlagen des Osterzgebirges unter Berücksichtigung des Einflusses von Wäldern*. Tharandter Klimaprotokolle, Bd. 2, Eigenverlag der Techn. Univ. Dresden, 193; Dresden.
- Krugmann, G.; Winkler, P.; 1989: Abschätzung der feuchten Deposition durch Nebel aufgrund gemessener chemischer und meteorologischer Parameter. Final Report BMFT-Project Grant No07431018.
- Lovett, G. M.; 1984: Rates and mechanisms of cloud water deposition in a subalpine coniferous forest. *Atmospheric Environment* 18, 361 – 367.
- Pahl, S.; 1996: *Feuchte Deposition auf Nadelwälder in den Hochlagen der Mittelgebirge*. Berichte des DWD Nr. 198, 126; Offenbach am Main.
- Rutter, A.J.; Robins, P.C.; Morton, A.J.; 1975: A predictive model of rainfall interception in forests, I. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *J. Appl. Ecol.*, 12, 367-380.
- Schemenauer, R.; 1999: Fog Newsletter. Issue 1, Robert.Schemenauer@ec.gc.ca; Toronto, Canada
- Stewart, 1988: Modelling surface conductance of pine forest. *Agric. For. Meteorol.*, 43, 19-35.

ABBAUWEGE VON OZON IN EINEM FICHTENALTBESTAND

K.-G. Schnitzler, S. Mölders, G. Gravenhorst, E. Schu, H. Kreilein
Institut für Bioklimatologie, Universität Göttingen

Ozon und Stickoxide sind Schlüsselverbindungen in der troposphärischen Photochemie. Ozon wirkt schon in kleinen Konzentrationen toxisch auf Menschen, Tiere und Pflanzen. Es wird mit dem in den letzten zwei Dekaden verstärkt beobachteten Waldsterben in Verbindung gebracht. Die mittleren troposphärischen Ozonkonzentrationen sind in den letzten Jahren stetig gestiegen. Um die Belastung eines Waldsystems durch reaktive Spurengase zu bestimmen, müssen die quantitativen und qualitativen Prozesse erfaßt werden, die ihren Eintrag in das System steuern. Aus der genauen Kenntnis dieser Prozesse lassen sich die Transferwege und -raten von Ozon und anderen Spurenstoffen in das Waldsystem ableiten.

Zur Quantifizierung der Abbauewege von Ozon in einem Fichtenaltbestand wurde am Institut für Bioklimatologie ein eindimensionales reaktionskinetisches Transportmodell entwickelt. Es beschreibt die chemischen Reaktionen der am Depositionsprozeß beteiligten luftgetragenen organischen und anorganischen Verbindungen, den atmosphärischen Transport aus der Atmosphäre in den Waldbestand und die Aufnahme von Spurenstoffen an den Oberflächenelementen wie Stomata, Cuticula und Boden.

Gleichzeitig wurde in einem ca. 115 Jahre alten Fichtenbestand im Solling ein Meßsystem zur kontinuierlichen Bestimmung der Luftkonzentrationen der Schlüsselsubstanzen Ozon, NO und NO₂ errichtet. Das Analysesystem wurde in einem 51 m hohen mikrometeorologischen Meßturm integriert. Über mehr als eine Vegetationsperiode konnten so die vertikalen Spurenstoffprofile dieser Substanzen vom Waldboden bis in 51 m Höhe über den Bestand und die meteorologischen Zustandsgrößen der atmosphärischen Grenzschicht bestimmt werden.

Aus dieser Datengrundlage konnten mit Modellrechnungen die genauen Abbauprozesse von Ozon in den Fichtenbestand untersucht werden. Dabei zeigt sich, daß tagsüber im Sommer etwa 15% des in den Wald deponierten Ozons durch chemische Umwandlung zerstört wird. Etwa 25% werden durch die Stomata in die Nadeln aufgenommen und 50% werden an den Cutikeln zerstört. Nur ca. 10% der in den Bestand eindringenden Ozonmoleküle werden am Waldboden deponiert.

DER N- UND S-HAUSHALT EINES FICHTENWALDÖKOSYSTEMS

Gode Gravenhorst
Institut für Bioklimatologie, Universität Göttingen

Die Organismen in Waldökosystemen benötigen für ihr Wachsen und den Erhalt ihrer Lebensfunktion Stickstoff- und Schwefelkomponenten, die sie in nutzbarer Form aus ihrer Umgebung im System oder außerhalb des Systems entnehmen müssen. Die Stabilität von Waldökosystemen hängt deshalb auch davon ab, ob und wie S- und N-Komponenten zur Verfügung stehen. Austauschraten von S- und N-Komponenten mit der Umgebung eines Fichtenwaldökosystems und innerhalb des Systems werden daher quantifiziert.

Die direkten Einträge durch Trockene und Nasse Deposition aus der Atmosphäre und durch Verwitterung von Mineralien werden den Stoffausträgen durch Verflüchtigung in die Atmosphäre und durch Versickerung gegenübergestellt. Wie sich eine Baumernte auf den Stoffhaushalt auswirkt wird bewertet. Im System intern auftretende N- und S-Transferraten werden auf ihre Konsistenz hin überprüft. Wie sich der Gesamtvorrat an N- und S-Komponenten im System ändert ist mit Vorratsmessungen nur mit großer Unsicherheit abzuschätzen. N- und S-Komponenten werden in größeren Mengen in das Fichtenwaldökosystem eingetragen als von Organismen im System benötigt werden. Schwefel geht in größeren Mengen dem System mit dem Sickerwasser verloren als aus der Atmosphäre nachgeliefert wird. Wie sich verändernde Umweltbedingungen auf Waldökosysteme auswirken können, wird diskutiert.

BESCHREIBUNG EINES VIELKANALSYSTEMS ZUR RÄUMLICH, ZEITLICH UND SPEKTRAL HOCHAUFGELÖSTEN MESSUNG DER PHOTOSYNTHETISCH AKTIVEN STRAHLUNG (PAR)

H. Reitmayer und P. Fabian

Lehrstuhl für Bioklimatologie und Immissionsforschung der Ludwig-Maximilians-Universität,
Am Hochanger 13, 85354 Freising/Weihenstephan

ZUSAMMENFASSUNG

Durch eine neu entwickelte und hier vorgestellte Meßapparatur kann der PAR- Bereich (PAR: Photosynthetic Active Radiation) der Sonnenstrahlung an sehr vielen im Bestand verteilten Meßstellen sowohl zeitlich als auch spektral hochaufgelöst gemessen werden. Durch ein kompaktes und sehr genaues MCS- Spektrometer (Multi- Channel- Spektrometer; 220 nm - 900 nm bei 0,7 nm Auflösung) liegt eine Messung des gesamten PAR- Spektrums im 100 ms Bereich. Die Lichtinformation wird durch im Kronenraum verteilte Lichtwellenleiter (LWL) zu einem zentralen Punkt in einem Meßwagen geleitet. Durch die spezielle Wahl der Lichteinkopplung in den LWL ist eine Messung des Strahlungsangebotes fast im gesamten Raumwinkel möglich. Ein mechanisch-optischer Multiplexer (X- Y- Mechanik), an dem das MCS- Modul montiert ist, ermöglicht eine sequentielle Abtastung der im Meßwagen befestigten Lichtwellenleiterenden. Durch diese sequentielle Abtastung der einzelnen Meßsensoren mit einer mittleren Meßzeit von 2s pro Meßpunkt kann bei 300 Meßstellen alle 10 Minuten ein Spektrum pro LWL- Sensor aufgenommen werden.

1 EINLEITUNG

Der spektrale Bereich der photosynthetisch aktiven Strahlung liegt im Bereich von 400 nm - 700 nm (Ross, 1981; Brunner, 1994; Hanan und Bégué, 1994). Der Anteil von PAR am Sonnenspektrum beträgt bei wolkenlosem Himmel ca. 30 % (Langholz und Häckel, 1985). Für die Photosynthese werden dabei nur bestimmte Anteile des PAR- Spektrums im Rot- und Blaubereich genutzt (Larcher, 1973; Renger, 1978). Meßgeräte, die nur ein Energiesummensignal liefern, müssen für die Erfassung dieser PAR- Strahlung deshalb eine spezielle Empfindlichkeitscharakteristik (DIN 5031, Teil 10; Mc Gree, 1981; Langholz und Häckel, 1985; Brunner, 1994; Dohrenbusch, 1995; Dohrenbusch et al., 1995) aufweisen, um ein korrektes Meßergebnis zu liefern.

Zur Erfassung der PAR- Strahlung werden verschiedenste Meßgeräte eingesetzt. Bei der integralen Messung unterscheidet man dabei thermische und Quanten- Strahlungsdetektoren (Dirmhirn, 1964; Kubin, 1971). Ein neueres Verfahren ermöglichte es, Messungen an vielen Meßstellen durchzuführen, indem das Licht mittels Lichtwellenleiter zu jeweils einem CCD- Element (Carged Coupled Device) geleitet und dort in ein elektrisches Energiesummensignal umgewandelt wird (Palva et al., 1998a; Palva et al., 1998b). Spektral hoch aufgelöste Messungen mit LWL wurden schon von Vogelmann und Björn (1984) durchgeführt, wobei dort aber nur eine Meßstelle genau bestimmt wurde. Um die Sonnenstrahlung innerhalb eines Bestandes mit einer akzeptablen Fehlertoleranz zu messen, werden sehr viele Meßpunkte benötigt, wobei zusätzlich mit einer wesentlichen Änderung in der spektralen Zusammensetzung des Lichtes zu rechnen ist (Reifsnyder et al., 1971).

Durch eine spektral hoch aufgelöste Messung innerhalb eines Bestandes kann nicht nur der integrale Energiewert des Strahlungsangebotes erfaßt werden, sondern es können auch Angaben über die Strahlungsqualität, d.h., über die Wellenlängenzusammensetzung bzw. auch über die verschiedenen Wellenlängenverhältnisse, gemacht werden.

2 AUFBAU UND MATERIALIEN

In einer Diplomarbeit (Reitmayer, 1997) wurde als Vorstufe die grundlegende Technik der hier vorgestellten Meßapparatur erarbeitet. Ein neuartiges und kompaktes Multi- Channel- Spektrometer (MCS), das mit einer Wellenlängenauflösung von 0,7 nm in einem Wellenlängenbereich von 220 nm - 1000 nm arbeitet, erlaubt die Erfassung des PAR- Bereiches des Sonnenspektrums im 100 ms Takt. Dabei wird das Licht über ein Gitter innerhalb des Moduls in die Spektralfarben zerlegt und die Intensität pro Wellenlänge mittels lichtempfindlicher Dioden gemessen. Diese Dioden sind in einem Array angeordnet und können über eine spezielle Signalfolge ausgelesen werden. Der

für eine Messung beträgt einschließlich aller Zusatz- Informationen wie Datum, Uhrzeit und Sensoridentifikation etwa 8 KB. Abbildung 1 zeigt den schematischen Aufbau des MCS- Moduls.

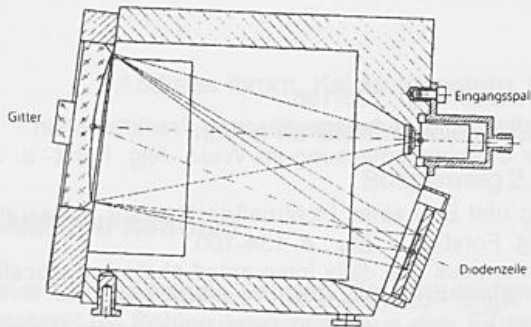


Abbildung 1: Schemazeichnung des Multi-Channel-Spektrometer-Moduls.

Der PAR- Anteil des Sonnenspektrums wird durch im Kronenraum verteilte Lichtwellenleiter (LWL) zu einem zentralen Punkt in einem Meßwagen geleitet. Ein mechanisch-optischer Multiplexer (X-Y- Mechanik), an dem das MCS- Modul montiert ist, ermöglicht eine sequentielle Abtastung der im Meßwagen befestigten Lichtwellenleitenden. Für die Meßapparatur wurden Multimoden- LWL aus Polymethylmethacrylat (PMMA) verwendet. Wegen der speziellen Dämpfungseigenschaften des Materials bei der Lichtleitung ist die maximale Länge der LWL auf 40 m beschränkt. Somit können die Sensoren im Radius von ca. 40 m verteilt werden.

Da alle Lichtwellenleiter nur einen kleinen Öffnungswinkel aufweisen (meist 10 - 20 °) und somit nur Licht aus diesem Winkelbereich weiterleiten können, muß ein Diffusorkopf an einem Ende angebracht werden, um den Raumwinkelbereich zu vergrößern. Damit möglichst im gesamten Raumwinkelbereich gemessen werden kann, bieten sich Kugelaufsätze an, die das auftreffende Licht so streuen, daß ein möglichst großer Teil in den Lichtwellenleiter eindringen kann (Abbildung 2).

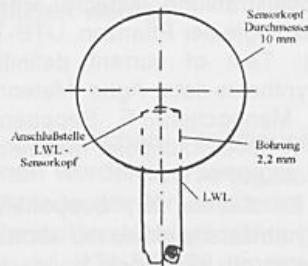


Abbildung 2: Sensorkopf für die Einkopplung des Lichtes in den LWL.

Getestete Materialien waren unter anderem mattierte Quarzglaskugeln, Hohlkugeln aus Celluloid, Kugeln aus Peroxymethylen (POM) und weißes Plexiglas. Für die Messung im PAR- Bereich erwiesen sich die Hohlkugeln aus Celluloid oder die Kugelaufsätze aus POM als gut geeignet, da sie sehr leicht (Celluloid) und auch sehr klein (POM) gehalten werden konnten. Die relativ schweren Quarzglaskugeln erreichten nicht diese Praktikabilität.

3 STANDORT IM KRANZBERGER FORST BEI FREISING

Die Messungen werden in einem Fichten- Buchen- Mischbestand, der als Parzelle 1 in der Wuchserie Freising FRE 813 erfaßt (Kahn und Schütze, 1997) und waldwachstumskundlich gut charakterisiert (Pretzsch et al., 1998) ist, durchgeführt. Die Meßapparatur mußte in einem eigens dafür vorgesehenen, abgedunkelten Raum montiert werden, da zwischen den Lichtwellenleitenden und dem Spektrometer ein kleiner Spalt bleibt, aber Fremdeinwirkung ausgeschlossen werden muß.



Abbildung 3: Standort des Meßwagens innerhalb der Versuchsfläche im Kranzberger Forst bei Freising (Foto: K.Reitmayer).

Die Positionierungsmechanik, das MCS- Modul, die Ansteuerungselektronik und die Programmsteuerung wurden in einen Meßwagen eingebaut, der an eine zentrale Stelle im Bestand gestellt wurde. Die Fenster des Meßwagens und die X-Y- Mechanik im Inneren wurden durch Verdunkelungsfolie abgedeckt (Abbildung 3).

Zu Beginn des Projektes war es geplant, Lichtsensoren an den Eckpunkten eines regelmäßigen Raumgitters zu plazieren. Wegen der heterogenen Struktur des Bestandes und dem Fehlen von Befestigungsmöglichkeiten entschied man sich, eine an den Waldbestand angepaßte Sensorverteilung zu realisieren. Die Lichtwellenleiter

werden dabei in und über der Krone der zu messenden Bäume befestigt und liefern so ein genaueres Bild darüber, wie sich die photosynthetisch aktive Strahlung innerhalb eines Bestandes ausbreitet.

werden dabei in und über der Krone der zu messenden Bäume befestigt und liefern so ein genaueres Bild darüber, wie sich die photosynthetisch aktive Strahlung innerhalb eines Bestandes ausbreitet.

LITERATUR

- Brunner, A., 1994: Ökologische Lichtmessung im Wald. Forstarchiv, 65, 133-138.
- Dirmhirn, I., 1964: Das Strahlungsfeld im Lebensraum. Akademische Verlagsgesellschaft Frankfurt/Main.
- Dohrenbusch, A., 1995: Überlegungen zur Optimierung der Strahlungsmessung im Wald. Allg. Forst- u. J. Ztg., 6, 109-114.
- Dohrenbusch, A., Kranigk, J., Pryor, D., 1995: Entwicklung und Bau eines Lichtmeßgerätes zur Erfassung der photosynthetisch nutzbaren Strahlung. Allg. Forst- u. J. Ztg., 8, 154-160.
- Hanan, N.P., Bégué, A., 1994: A method to estimate instantaneous and daily intercepted photosynthetically active radiation using a hemispherical sensor. Agric. For. Meteorolog., 74, 155-168.
- Kahn, M., Schütze, G., 1997: Exkursionsführer MWW-EF 99, hg. vom Lehrstuhl für Waldwachstumskunde, Forstwissenschaftliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Kubin, Š., 1971: Measurement of radiant energy. In: *Plant photosynthetic reduction. Manual of methods*, hg. von Šesták Z., Catský J., Jarvis P. G., Dr. W. Jank N.V. Publishers The Hague, 702-765.
- Langholz, H., Häckel, H., 1985: Messungen der photosynthetisch aktiven Strahlung und Korrelationen mit der Globalstrahlung. Meteorol. Rdsch., 38, 75-82.
- Larcher, W., 1973: Ökologie der Pflanzen. UTB-Taschenbuch Nr. 232. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.
- McCree, K.J., 1981: Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. Agric. Meteorol., 10, 443-453.
- Palva, L., Garam, E., Manoochehri, F., Sepponen, R., Hari, P., Rajala, K., Ruotoistenmäki, H., Seppälä, I., 1998a: A novel multipoint measuring system of photosynthetically active radiation. Agric. For. Meteorol., 89, 141-147.
- Palva, L., Garam, E., Siivola, E., Sepponen, R., Hari, P., 1998b: Quantifying spatial variability of photosynthetically active radiation within canopies using a multipoint measuring system. Agric. For. Meteorol., 92, 163-171.
- Pretzsch, H., Kahn, M., Grote, R., 1998: Die Fichten- Buchen- Mischbestände des Sonderforschungsbereiches „Wachstum oder Parasitenabwehr?“ im Kranzberger Forst. Forstw. Cbl. 117, 241-257.
- Reifsnyder, W.E., Furnival, G.M., Horowitz, J.L., 1971: Spatial and temporal distribution of solar radiation beneath forest canopies. Agric. Meteorol, 9, 21-37.
- Reitmayer, H., 1997: Entwicklung und Aufbau eines Meßgerätes zur spektralen Analyse mikrometeorologischer Strahlungsverhältnisse im Kronenraum von Waldbäumen. Unveröffentl. Diplomarbeit. Physik- Department, Fachbereich E15, Technische Universität München, 81 S.
- Renger, G., 1978: Photosynthese. In: *Biophysik. Ein Lehrbuch*, hg. von Hoppe W., Lohmann W., Markl H., Ziegler H., korrigierter Nachdruck der ersten Aufl., Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 415-441.
- Ross, J., 1981: The radiation regime and architecture of plant stands. Tasks for vegetation sciences 3, hg. von Lieth H., Dr. W. Junk Publishers The Hague, Boston, London.
- Vogelmann, T.C., Björn, L.O., 1984: Measurement of light gradients and spectral regime in plant tissue with a fiber optic probe. Physiol. Plan., 60, 361-368.

DIE BIOPHYSIKALISCHE STEUERUNG DER CO₂-TRANSPORTE DURCH DIE ATMOSPHERISCHE GRENZSCHICHT ÜBER WALD

Andreas Ibrom, Kai Morgenstern, Heinrich Kreilein und Gode Gravenhorst

Institut für Bioklimatologie Georg-August Universität Göttingen

Büsgenweg 2, 37077 D-Göttingen

ZUSAMMENFASSUNG

In einer Langzeitstudie wurden die turbulenten CO₂-Transporte über einem ausgewachsenen Fichtenbestand im Solling bestimmt. Aus den Flussraten wurden jährliche Kohlenstoffbilanzen berechnet und empirische Beziehungen zur Witterung hergestellt. Der Bestand ist eine unerwartet hohe Senke für CO₂. Mit nur drei Wetterelementen und einem nicht linearen multifaktoriellen Regressionsmodell konnten 75% der Variation der Brutto-Photosynthese des Fichtenbestandes erklärt werden. Aus Simulationsergebnissen zu bestimmten Wetterszenarien konnte der Einfluß einzelner Wetterelemente auf die Brutto-Photosynthese des Fichtenbestandes quantifiziert werden.

1 EINLEITUNG

Der CO₂-Haushalt der Erdatmosphäre wirft wegen des zusätzlichen Treibhauseffektes besonders dringliche Fragen auf. Von den anthropogenen CO₂-Emissionen werden nur weniger als 50% in der Atmosphäre akkumuliert (IPCC, 1996). Die verbleibenden Anteile werden entweder von den Ozeanen oder aber von der Biosphäre aufgenommen. Die Lebensdauer des Kohlenstoffes ist in diesen beiden Systemen aber sehr unterschiedlich. Die Biosphäre ist erheblich enger an die sich ändernden physikalischen Rahmenbedingungen gekoppelt als der Ozean. Wird ein nicht unerheblicher Teil in der Biosphäre gespeichert, ist der Kohlenstoff sehr viel zugänglicher für Rückkopplungen zum Klimawandel. In diesem Zusammenhang ergeben sich die beiden Fragestellungen nach der absoluten Höhe der CO₂-Aufnahmerate in terrestrische Ökosysteme und nach der Stabilität dieses Speichers hinsichtlich der Wechselwirkung mit dem sich im Klimawandel ändernden Witterungsbedingungen. Wälder sind die naturnahen Ökosysteme mit den höchsten Kohlenstoffvorräten in der lebenden Biomasse und können erhebliche Mengen im Boden speichern. Ihre flächenmäßige Erstreckung ist ebenfalls beachtlich, so dass es nahe liegt, diese Kohlenstofftransporte gerade in diesen Systemen zu untersuchen.

2 METHODIK

Seit 1995 werden auf der Fichtenprobefläche F1 im Solling (Tab. 1) die turbulenten CO₂-Transporte mit der Atmosphäre kontinuierlich bestimmt. Dabei kommt die Eddykorrelationsmethode zum Einsatz, die durch die Einführung eines schnellen *closed path* CO₂-Analysators (LI-6262, LI-COR, Lincoln, USA) am Institut für Bioklimatologie zur Langzeittauglichkeit weiterentwickelt wurde. Für die Windmessung wird ein Ultraschallanemometer USAT 3 der Firma Metek (Elmshorn) verwendet. An einem 50m hohen Messturm werden zudem allgemeine Witterungsparameter erhoben.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die turbulenten Flussdaten wurden einer sorgfältigen Qualitätsanalyse unterzogen. Diese beinhalten die Überprüfung der Rohdaten mit verschiedenen automatisierten „Post Processing“ Schritten, die

Tab. 1: Kenndaten der Baumbestandes der Fichtenfläche F1 im Solling.

Parameter		Quelle
Lage	Plateaulage, 505 m üNN, 51°46'' N 9°6''E	1
Klima typ	hochmontan, subozeanisch/subkontinental	1
mittlerer Jahresniederschlag	1045mm/a	1
Jahresmitteltemperatur	6.6 °C	1
Baumalter	115 Jahre (1888 gepflanzt)	1
Blattflächenindex (LAI, projiziert)	7	1,2,3
Boden	tiefgründige, saure Braunerde	1

Quellen: ¹ Ellenberg et al. (1986), ² Daten der Niedersächsischen forstlichen Versuchsanstalt (NFVA), ³ eigene Messungen.

Untersuchung der spektralen Eigenschaften der Zeitreihen und Plausibilitätsbetrachtungen der berechneten Flußraten selbst. Aus Betrachtungen der Energiebilanzschließung ergab sich, dass die Eddykorrelationsmethode besonders bei stabiler Schichtung nicht den gesamten CO₂-Fluss bestimmt (Ibrom et al. 1996, Aubinet et al. 1998). Um diese Effekte zu berücksichtigen, wurden nur die Daten in die langfristige Integration einbezogen, die unter relativ ungedämpfter Turbulenz gemessen wurden. Die unter anderem durch den Ausschluss von Daten mit eingeschränkter Qualität entstehenden Datenlücken wurden durch die Stundenwerte aus mittleren monatlichen Tagesgängen aufgefüllt. Aus diesen interpolierten Daten wurden dann Jahressummen des CO₂- Transports berechnet.

Der untersuchte Fichtenbestand ist auf jährlicher Basis eine unerwartet starke Kohlenstoffsene

Tab. 2: Jahressummen verschiedener CO₂-Flüsse in g-C/m²/a.

Fluss in	1996	1997
NEE	-312	-511
GPR	-1122	-1421
RE	760	879

(Tab.2). Dies verwundert angesichts des relativ hohen Alters des Fichtenbestandes. Die aufgenommene Kohlenstoffmenge übersteigt die in der gleichen Zeit etwa im Stammwachstum gespeicherte Menge erheblich. Dies deutet darauf hin, dass der zusätzliche Kohlenstoff möglicherweise im Waldboden in organischer Form akkumuliert wird. Die Senkenstärke ist jedoch von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich. Die höchsten monatlichen Aufnahmeraten im Untersuchungszeitraum wurden in den Sommermonaten des Jahr 1997 gemessen (Abb. 1). Werden mit Hilfe der Tag-Nacht-Unterschiede aus den Brutto-Flüssen die Ökosystem-Respiration (RE) und die Brutto-Photosynthese (GPR) berechnet, zeigt sich, dass die Photosynthese stärker als die Respiration zwischen den Jahren variiert.

Die klassische bioklimatologische Fragestellung ist nun die, in wie fern diese Unterschiede mit der Witterung erklärt werden können. Hier soll jedoch auf eine Betrachtung der Witterungsanomalien bestimmter allgemeiner Schlüsselparameter verzichtet, sondern vielmehr der Frage nachgegangen, ob sich aus den gemessenen Zeitreihen empirische Zusammenhänge ableiten lassen, mit denen der Wettereinfluss auf die inter annuellen Unterschiede quantifiziert werden kann.

Anders als bei pflanzenphysiologischen Untersuchungen ist es bei Wäldern nicht möglich, die physikalischen Rahmenbedingungen für die betrachteten Prozesse künstlich zu manipulieren. Die Witterungsabhängigkeit der CO₂-Transporte kann also nur in der natürlichen Variation der Wetterbedingungen untersucht werden. Der Vorteil der mikrometeorologischen Methode liegt in ihrer hohen zeitlichen Auflösung von bis zu einer halben Stunde, so dass die unmittelbare Reaktion des Waldes auf sich ändernde Witterungsbedingungen verfolgt werden kann. Wird die CO₂- Vorratsänderung im Bestandesraum vernachlässigt, entspricht der gemessene Fluß der Bilanz aus den beiden Grundprozessen, der Photosynthese und der Respiration. Da die Witterungsabhängigkeit dieser beiden Prozesse unterschiedlich ist, ist es sinnvoll diese Prozesse zu trennen. Die Witterungsabhängigkeit der GPR wurde mit einem nicht linearen, multifaktoriellen Regressionsverfahren quantifiziert, wobei die Lufttemperatur, T, die Globalstrahlung, G, und das Wassersättigungsdefizit, VPD, einbezogen wurde. Das Regressionsmodell orientiert sich an Ansätzen, wie sie auf Blattebene in der Ökophysiologie verwendet wurden (z.B. Jarvis, 1976). Das Verfahren wirft aber in sofern ein Problem auf, als dass die Witterungsparameter untereinander korrelieren. Dies ist beispielhaft in Abb. 2 dargestellt. Sowohl Strahlung und Temperatur als auch das VPD und die Temperatur kommen besonders häufig in bestimmten Kombinationen vor, die auch als Witterungskomplexe bezeichnet werden können. Andere Kombinationen, wie z.B. hohe Lufttemperaturen und niedriges VPD sind relativ selten und kommen nie vor. Aus den Abbildungen geht hervor, dass bestimmte Gebiete des Variablenraums

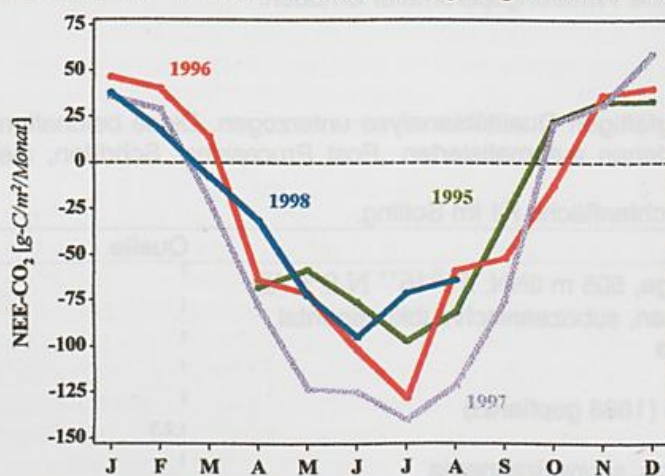


Abb. 1: Jahresgänge des Netto-CO₂-Austauschs(NEE)

überhaupt nicht durch Messwerte besetzt werden, auch nicht nach nunmehr vier Untersuchungsjahren. Die ungleiche Häufigkeit im Variablenraum kann durch die Gewichtung der Beobachtungen bei der Regression kompensiert werden. Dabei wird das Gewicht der Einzelobservation umgekehrt proportional ihrer Häufigkeit in einem definierten Gebiet gewählt. Die Summe der Gewichte ergibt dann genau die Anzahl der Einzelobservationen. Einschränkend muß zu diesem Verfahren jedoch bemerkt werden, dass gänzlich unbesetzte Felder nicht kompensiert werden und dass Messfehler bei seltenen Variablenkonstellationen einen höheren Einfluss ausüben als bei den häufig

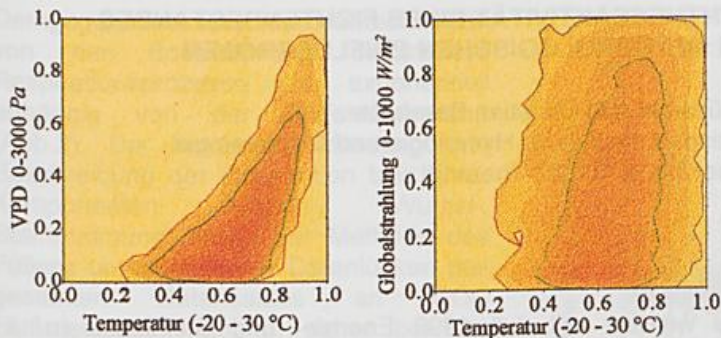


Abb. 2: Normierte 2D- Häufigkeitsverteilungen von Globalstrahlung (G) und Wasserdampf-sättigungsdefizit (VPD) mit der Lufttemperatur (T). Einige Zellen des Variablenraumes sind nicht gefüllt (außerhalb der äußeren Linie). Die innere Linie kennzeichnet die Dichte von 1, normiert auf den Mittelwert der hier 12.700 Observationen. Die Klassifizierung der Flächen durch die Schattierung des Diagramms ist nicht linear. Die maximalen normierte Dichten überschreiten 16 (VPD,T), bzw. 12 (G,T).

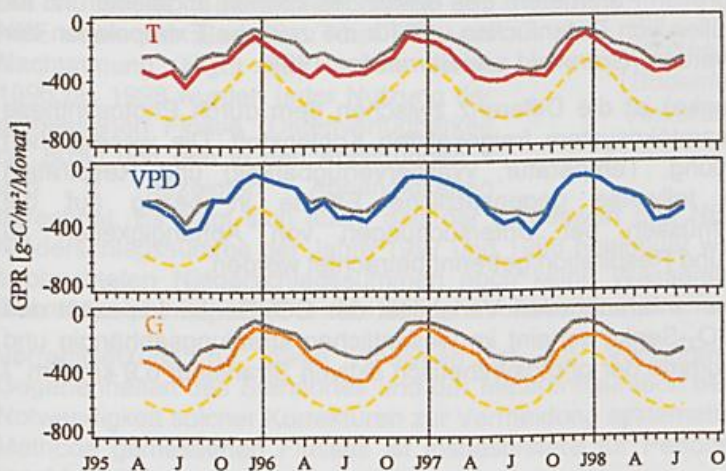


Abb. 3: Simulationen der monatlichen Brutto- Photosyntheseraten unter fünf verschiedenen Wetterszenarios. Die jeweils obere und untere Linie stellen die Simulation unter Umgebungsbedingungen und unter potentiellen Wetterbedingungen dar, d.h. unter potentieller Globalstrahlung (G), optimaler Temperatur (T) und optimalem Wasserdampf-sättigungsdefizit (VPD). Die dazwischen befindlichen Linien kennzeichnen Simulationen bei den jeweils nur einer der drei Wetterfaktoren optimal gehalten wurde.

besetzten Gebieten. Mit dem Regressionsverfahren ließ sich aus den 12700 Stundendaten ein Parameterdatensatz bestimmen. Mit diesem empirischen Modell konnten 75 % der Variation der GPR erklärt werden. Um nun die Witterungsabhängigkeit der GPR zu quantifizieren, wurden Szenarios gebildet, in denen jeweils zwei Variablen potentiell und ein Wetterelement wie gemessen einging. In Abb. 3 sind die Ergebnisse dieser Simulationen dargestellt und mit den natürlichen, bzw. den potentiellen Bedingungen verglichen.

Die durch Bewölkung reduzierte Globalstrahlung verringert die GPR über das ganze Jahr hinweg um 40 -60% des Maximalwertes. Der Bewölkung kommt also an unserem Untersuchungsstandort die größte Bedeutung bei der Regulation der GPR zu. Die Gesamtreduktion der GPR durch „Wetter“ schwankt zwischen mehr als 80% im Winter und 50-60% im Sommer.

Die unterschiedlichen Brutto-Photosyntheseraten der untersuchten Jahre können nun begründet durch die empirischen Befunde auf die verschiedene Witterung zurückgeführt werden. 1997 haben die Temperaturen und im frühen Sommer auch die höhere Strahlung zu relativ hohen Brutto-Photosyntheseraten geführt. Die Einschränkung durch höhere VPD im Sommer fiel 1997 nicht so hoch aus wie 1995 und war nur unbedeutend höher als 1996.

Mit dem hier vorgestellten Verfahren wurde gezeigt, wie mit Hilfe von mikrometeorologischen Messdaten

und einem ökophysiologischen Modellkonzept die biometeorologische Fragestellung nach der Witterungsabhängigkeit der CO₂-Transporte quantitativ beantwortet werden kann.

LITERATUR

- Aubinet, M., Grelle, A., Ibrom, A., Rannik, Ü., Moncrieff, J., Foken, T., Kowalski, A.S., Martin, P.H., Berbigier, P., Bernhofer, C., Clement, R., Elbers, J., Granier, A., Grünwald, T., Morgenstern, K., Pilegaard, K., Rebmann, C., Snijders, W., Valentini, R., Vesala, T., 1999: Estimates of the annual net carbon and water exchange of European forests: the EUROFLUX methodology. *Adv. Ecol. Res.* accepted for publication: 50.
- Ellenberg H., Mayer R., Schauer mann M., 1986: Ökosystemforschung: Ergebnisse des Solling-Projekts. Ulmer Verlag, Stuttgart, Deutschland, 507.
- Ibrom, A., Schuetz, C., Tworek, T., Morgenstern, K., Oltchev, A., Falk, M., Constantin, J. & Gravenhorst, G., 1996: Eddy-correlation measurements of the fluxes of CO₂ and H₂O above a spruce stand. *Physics and Chemistry of the Earth* 21(5/6): 409-414.
- IPCC (1996): *Climate Change 1995 The science of Climate Change*. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B-A Callander, N. Harris, A. Kattenberg, K. Maskell, Ed. , Cambridge University Press, Cambridge, UK, 564.
- Jarvis, P.G. 1976: The interpretation of the variations in leaf water potential and stomatal conductance found in canopies in the field. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 273: 593-610.

VARIABILITÄT DER PHOTOSYNTHESEAKTIVITÄT EINES FICHTENBESTANDES IN ABHÄNGIGKEIT VON METEOROLOGISCHEN EINFLUßGRÖßEN

Thomas Grünwald und Christian Bernhofer
Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie
Pienner Str. 9, 01737 Tharandt

1 EINLEITUNG

Im Rahmen des EUROFLUX-Projektes werden seit Juli 1996 Energie- und Stoffflüsse (u. a. Wasserdampf- und Kohlendioxid-Fluß) eines 112-jährigen Fichtenbestandes in der Nähe von Dresden (50°58'N, 13°38'E) mittels Eddy-Kovarianz-Methode (EC-Methode) kontinuierlich gemessen. Innerhalb dieses Projektes erfolgen europaweit an 15 Standorten standardisierte Messungen, um die Bedeutung der temperaten europäischen Wälder im weltweiten Kohlenstoffkreislauf quantitativ erfassen zu können (Aubinet et al., 1998).

Beziehungen zwischen CO₂- und biologisch gesteuertem H₂O-Fluß (Transpiration) untereinander und zu anderen meteorologischen und strukturellen Parametern des Bestandes können abgeleitet und für die Modellparametrisierung sowie zum Füllen von Datenlücken und für die zeitliche Extrapolation der Datenreihe des CO₂-Flusses verwendet werden (Grünwald and Bernhofer, 1998).

Die Nettokohlenstoffassimilation (CO₂-Senke) ist die Differenz zwischen dem durch Photosynthese gebundenen und durch Atmung im Gesamtsystem freigesetzten Kohlenstoff. Die wesentlichen Einflußfaktoren auf Assimilation (Strahlung, Temperatur, Wasserverfügbarkeit) und Respiration (Bodentemperatur, -feuchte) bewirken teilweise gegensätzliche Effekte in bezug auf die Nettokohlenstoffassimilation. Deshalb müssen bei Untersuchungen von Abhängigkeiten zu meteorologischen Variablen Assimilation und Respiration getrennt betrachtet werden.

Diese Abhängigkeiten führen u.a. zu einer interannuellen Variabilität der CO₂-Senkenkapazität des untersuchten Fichtenbestandes. Diese CO₂-Senke scheint im wesentlichen strahlungsabhängig und betrug 1996 20,1 t CO₂ ha⁻¹ (Strahlungssumme der photosynthetisch aktiven Strahlung: 6,9 kmol m⁻²) und 1997 23,8 t CO₂ ha⁻¹ (8,0 kmol m⁻²).

2 ERGEBNISSE

Die Kapazität der CO₂-Senke eines Waldbestandes ergibt sich als Summe von Assimilation (negativer, zum Bestand gerichteter CO₂-Fluß) und Respiration (positiver CO₂-Fluß). Der resultierende Netto-CO₂-Fluß (NEE = Net Ecosystem Exchange) kann für verschiedene Zeitskalen integriert werden (z.B. Stunde, Tag, Vegetationsperiode, Jahr). Der Assimilationsanteil am Kohlendioxidaustausch zwischen dem betrachteten Altfichtenbestand und der Atmosphäre zeigt eine klare Abhängigkeit von der photosynthetisch aktiven Strahlung (PPFD) und wächst nicht über einen temperaturabhängigen bestandestypischen Sättigungswert (Abb.1).

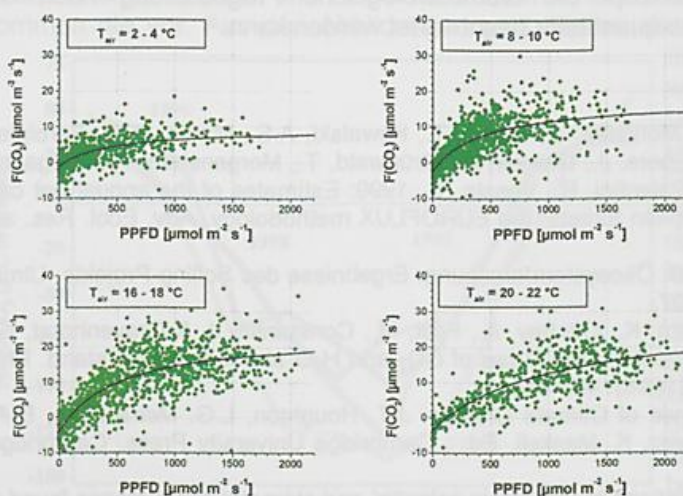


Abb.1: Halbstundenwerte des CO₂-Flusses $F(\text{CO}_2)$ mit überwiegender Assimilation (Tagwerte) in Abhängigkeit von der photosynthetisch aktiven Strahlung PPFD in vier ausgewählten Temperaturklassen an der Ankerstation Tharandt (1998)

Demgegenüber sind die wahrscheinlich von der Bodenatmung dominierten Respirationsprozesse u.a. exponentiell abhängig von der Bodentemperatur (Abb.2). Der korrekten Erfassung und Beschreibung der Respiration bzw. ihrer Komponenten (Boden-, Wurzel-, Stammatmung) sowie der Methode des Füllens unvermeidlicher Datenlücken des gesamten Datensatzes an CO₂-Flußmessungen kommt daher bei der Berechnung von Jahreswerten des NEE besondere Bedeutung zu. Abhängig vom gewählten Verfahren zur Berechnung des NEE und der Häufigkeit und Länge von Datenlücken schwankt dessen Jahreswert um bis zu +/- 25% (für 1996). Die in Tabelle 1 genannten Zahlen des NEE sowie der Gesamt- (Total RE) und Nachtatmung (Night RE) für die Jahre 1996 bis 1998 wurden unter Nutzung der gemessenen Flüsse (Datenverfügbarkeit ca. 80%) und den in den Abbildungen 1 und 2 gezeigten Abhängigkeiten berechnet. Es zeigt sich auch, daß der Jahreswert des NEE nur wenig von der unterschiedlichen Niederschlagssumme der Jahre 1997 und 1998 beeinflusst wird (s. Tab.1). Entweder tritt also bei den beobachteten Niederschlagssummen noch keine Wasserstreßsituation ein oder die Boden- bzw. Stammspeicherkapazität reichte aus, um solche Situationen zu kompensieren.

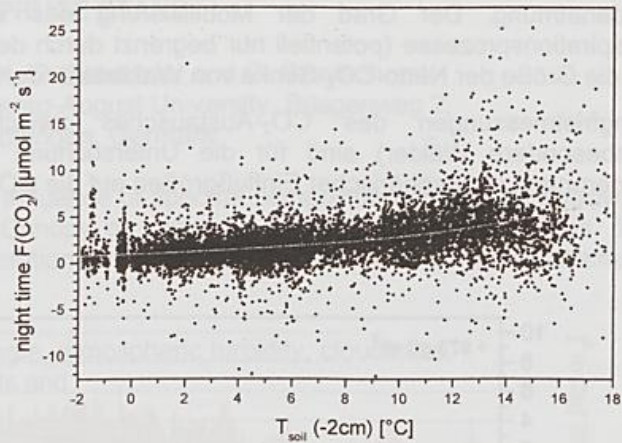


Abb.2: Halbstundenwerte des CO₂-Flusses $F(\text{CO}_2)$ mit überwiegender Respiration (Nachtwerte) in Abhängigkeit von der Bodentemperatur in 2cm Tiefe an der Ankerstation Tharandt (1998)

Vorraussetzung für diese Analysen ist ein Verfahren zur Flußkorrektur, das spezifische Gegebenheiten des Standortes und der Meßkonfiguration berücksichtigt (Bernhofer et al., 1998). Die Notwendigkeit solcher Korrekturen zur Vermeidung systematischer Unterschätzungen des mit der EC-Methode gemessenen Flusses ist insbesondere für Perioden geringer atmosphärischer Turbulenz (nachts, Winter) gegeben.

Tab.1: Jahreswerte der Netto-CO₂-Senke (NEE), der Gesamt- (Total RE) und Nachtatmung (Night RE), der photosynthetisch aktiven Strahlung (PPFD), der Lufttemperatur (T_{air}) sowie des Niederschlags (P) an der Ankerstation Tharandter Wald 1996 - 1998

Jahr	NEE [g C m ⁻² a ⁻¹]	Total RE [g C m ⁻² a ⁻¹]	Night RE [g C m ⁻² a ⁻¹]	PPFD [mol m ⁻² a ⁻¹]	T_{air} [°C]	P [mm]
1996	-548	827	324	6880	6,1	771
1997	-650	946	389	8000	8,3	714
1998	-668	973	382	7410	8,5	909

Die jahreszeitliche Variabilität der Komponenten des NEE (1998) in Abhängigkeit von den steuernden meteorologischen Größen Strahlung, Lufttemperatur und Niederschlag zeigt Abb.3. Dargestellt ist der im Jahresgang kumulativ aufgetragene CO₂-Fluß, seine Komponenten Assimilation und Respiration sowie Jahrgänge der genannten meteorologischen Einflußgrößen. Auffallend sind die parallelen Verläufe von Strahlung und Photosynthese bzw. Temperatur und Atmung.

ZUSAMMENFASSUNG

Infolge der auf Jahresbasis dominierenden Assimilation zeigt sich eine Abhängigkeit der Netto-CO₂-Senke des Tharandter Altlichtenbestandes vom nutzbaren Energieangebot in Form von photosynthetisch aktiver Strahlung, sofern Lufttemperatur und Niederschlagsangebot keine limitierenden Faktoren sind (die Ernährungssituation der Fichten wird hier nicht betrachtet).

Andererseits bewirken eine hohe Bodentemperatur und -feuchte eine (exponentielle) Zunahme der Bodenatmung. Der Grad der Mobilisierung des im Boden gebundenen Kohlenstoffs durch Respirationprozesse (potentiell nur begrenzt durch den Kohlenstoffgehalt des Bodens) spielt daher für die Größe der Netto-CO₂-Senke von Waldbeständen eine wesentliche Rolle.

Langfristmessungen des CO₂-Austausches zwischen Atmosphäre und Pflanzenbeständen (insbesondere Wälder) sind für die Untersuchung des Einflusses von kurz- bis langfristigen Änderungen atmosphärischer Einflußgrößen auf die CO₂-Senke somit unerlässlich.

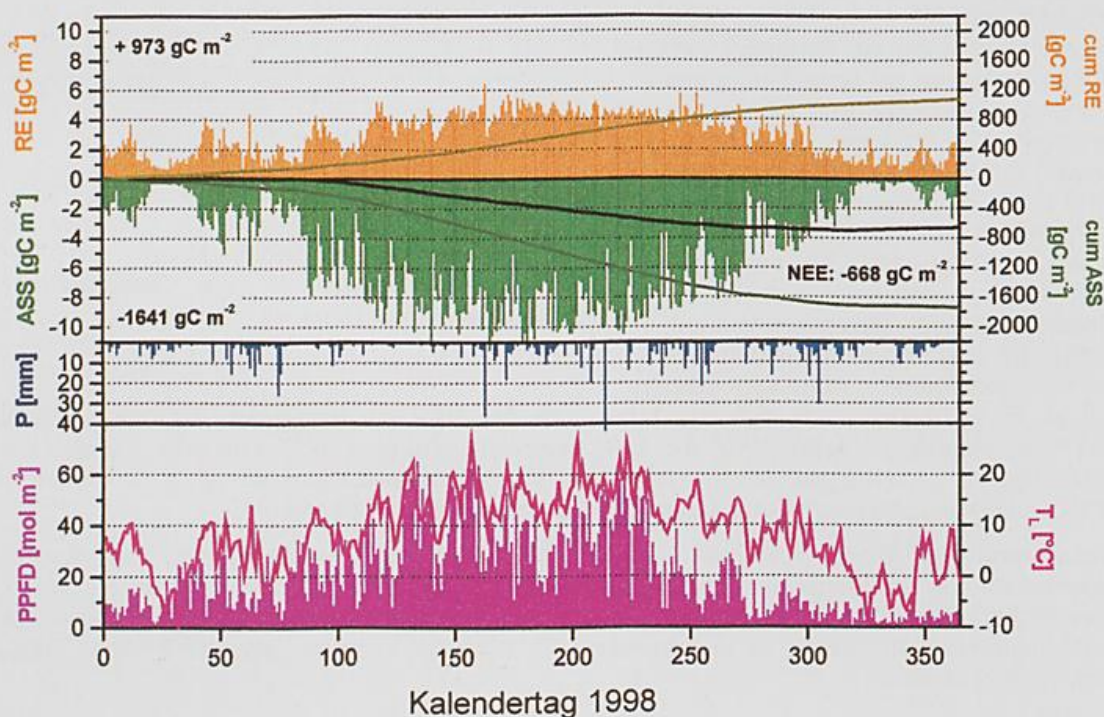


Abb.3: Netto-CO₂-Fluß, dessen Komponenten Assimilation and Respiration (Tagessummen und kumulative Darstellung), Niederschlag, Lufttemperatur sowie photosynthetisch aktive Strahlung an der Ankerstation Tharandt 1998 (NEE: -668 gC m⁻², Assimilation: -1641 gC m⁻², Respiration: -973 gC m⁻²)

LITERATUR

- Bernhofer, Ch., Feigenwinter, Ch., Grünwald, T., Vogt, R., 1998: A modified spectral correction method for damping loss of water and carbon flux using displaced sensors for EC measurements. Submitted to Ann. Res. For.
- Aubinet, M., Grelle, A., Ibrom, A., Rannik, Ü., Moncrieff, J., Foken, T., Kowalski, A.S., Martin, P.H., Berbigier, P., Bernhofer, Ch., Clement, R., Elbers, J., Granier, A., Grünwald, T., Morgenstern, K., Pilegaard, K., Rebmann, C., Snijders, W., Valentini, R., Vesala, T., 1998: Estimates of the annual net carbon and water exchange of European forests: the EUROFLUX methodology. Accepted in Advances in Ecological Research
- Grünwald, T., and Ch. Bernhofer, 1998: Data gap filling with regression modelling. Proceedings of the LTEEF-EUROFLUX Conference in Antwerp, Belgium, 21.-25.9.1998, to be published

3-D SIMULATION OF PHOTOSYNTHESIS AND RADIATION IN A SPRUCE STAND

O. Panfyorov, M. Kroeger, K.-G. Schnitzler and G. Gravenhorst
Institute of Bioclimatology, Georg-August University, BÜsgenweg 2,
37077, Göttingen, Germany

In this presentation we would like to show the influence of spectral composition of up- and downward directed solar radiation fluxes in Vegetation Canopy on radiative regime and photosynthesis. The features of incoming and transformed by vegetation fluxes are determined by three main parameter groups:

- (i) illumination conditions i.e Solar elevation angle, atmospheric turbidity, cloudiness,
- (ii) optical properties of phytoelements and soils and
- (iii) structure of vegetation canopy.

To evaluate the influence of latter two parameters we used the three-dimensional radiative transfer model, developed in Institute of Bioclimatology, Uni Goettingen. The results of simulations were compared with measurements made on a measuring tower on F1-site (120-years old spruce stand) in Solling.

WITTERUNGSSTRESS AUF BUCHENWÄLDER

H. Mayer, J. Trützel und A. Matzarakis
Meteorologisches Institut der Universität Freiburg,
Werderring 10, 79085 Freiburg

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des SFB 433 „Buchendominierte Laubwälder unter dem Einfluß von Klima und Bewirtschaftung: Ökologische, waldbauliche und sozialwissenschaftliche Analysen“ werden Untersuchungen durchgeführt, die sich in einer retrospektiven Analyse mit Wetter- und Witterungsstress auf Buchenwälder beschäftigen. Diese Arbeiten beziehen sich nicht nur auf das SFB-Untersuchungsgebiet im Großraum Tuttlingen, sondern schließen auch Literaturberichte über Wetter- und Witterungsstress auf Buchenwälder in Mitteleuropa ein. Eine besondere Bedeutung kommt phänologischen Daten von Buchen zu, weil nur über sie eine forstlich relevante Beurteilung des Auftretens von potentiellen Witterungsstressfaktoren für Waldbäume möglich ist.

1 EINLEITUNG

Waldbestände bilden offene Ökosysteme, die ständig äußeren Einwirkungen ausgesetzt sind. Sie werden daher permanent durch Wetterereignisse, Witterungserscheinungen und Klimaschwankungen bzw. sogar Klimaänderungen beeinflusst. An die mittleren Wetter-, Witterungs- und Klimabedingungen eines Standortes sind Wälder meistens gut angepaßt. Extreme Wetter- und Witterungsereignisse können Waldbäume jedoch belasten und zu Stresssituationen führen. Zusätzlich erlangen die forstlichen Folgen von Klimaänderungen langfristig eine ansteigende Bedeutung (Felbermeier, 1994).

Berichte über Wetter- und Witterungsstress auf Waldbäume, z.B. das Hagelunwetter 1992, die starken Stürme im Spätwinter 1990, die extremen Trockenperioden Ende der 80-er und Anfang der 90-er Jahre oder das Spätfrostereignis 1995, beziehen sich meistens auf Nadelreinbestände, weil sie häufig auf großer Fläche am schwersten betroffen waren. Als Gründe werden oft ihr hoher Anteil und ihre große Labilität genannt. Die als stabiler angesehenen Laubbaumarten treten jedoch seit einigen Jahren immer mehr in den Vordergrund. Sie gewinnen vor allem im Zusammenhang mit dem naturnahen Waldbau, d.h. der Überführung von Nadelholzmonokulturen in stabile Mischbestände, stetig an Bedeutung. Die Buche ist in weiten Teilen Mitteleuropas die häufigste Laubbaumart (17 % an der Waldfläche Deutschlands) und deshalb in vielen Waldbeständen vertreten. Sie spielt bei der Umstellung auf einen höheren Laubholzanteil eine bedeutende Rolle.

2 SONDERFORSCHUNGSBEREICH 433

Die generellen forstlichen Forschungsdefizite bei der Buche waren ausschlaggebend, daß seit dem 1. Januar 1999 an der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität Freiburg der Sonderforschungsbereich 433 „Buchendominierte Laubwälder unter dem Einfluß von Klima und Bewirtschaftung: Ökologische, waldbauliche und sozialwissenschaftliche Analysen“ besteht.

Die Analyse des Einflusses von Klima und Witterung auf Buchenwälder müßte sich eigentlich auf ihr gesamtes Verbreitungsgebiet beziehen. Dieses kann jedoch aus zahlreichen Gründen (u.a. Logistik, Problematik der Einrichtung von waldbaulich behandelten Versuchspartzen außerhalb von Deutschland, usw.) nicht realisiert werden, so daß für die aktuellen Untersuchungen im Rahmen des SFBs Buchenbestände im Raum Tuttlingen ausgewählt wurden. Dort besteht die Möglichkeit, Klimaunterschiede durch Versuchsfächen auf einem NO- und einem gegenüberliegenden SW-Hang zu simulieren.

Die Arbeiten des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg innerhalb dieses SFBs liegt folgende Problemstellung zugrunde:

- ** Die standortsbezogene Ausprägung der atmosphärischen Umwelt beeinflusst Prozesse und Strukturen in buchendominierten Laubwäldern.
- ** Die atmosphärischen Rahmenbedingungen sind durch *großräumiges* Klima und *großräumige* Witterungssingularitäten vorgegeben; sie werden über die Klima- und Witterungsdynamik *regional* sowie

Zur systematischen retrospektiven Analyse von etwaigem Wetter- und Witterungsstress auf Buchen im Untersuchungsgebiet des SFB werden langfristige Daten auf Tagesbasis (über einen Zeitraum von mindestens 50 Jahren) von dort vorhandenen Klimastationen des Deutschen Wetterdienstes verwendet. Dabei sind meistens Tagesmittelwert und tägliche Extremwerte der Lufttemperatur sowie tägliche Niederschlagshöhe verfügbar. Seltener kann auf Angaben zur relativen Luftfeuchtigkeit bei den drei Klimaterminen, täglichen Sonnenscheindauer, Erdbodentemperatur, Schneehöhe, Windstärke und Windrichtung zurückgegriffen werden. Diese Daten werden pro Klimastation nach statistischen Methoden (König und Mayer, 1989) und unter Einbeziehung von Bodenwasserhaushaltsmodellen so bearbeitet, daß die Ergebnisse eine forstliche Relevanz aufweisen. Dabei dienen potentielle Witterungsstressfaktoren für Waldbäume (Tab. 1) als Indikatoren. Inwieweit dadurch herausgefilterte Wetter- und Witterungsereignisse bei ihrem Auftreten tatsächlich pflanzenschädigend wirkten, läßt sich bei retrospektiven Analysen nur über vorhandene Schadensberichte oder phänologische Daten von Waldbäumen abschätzen (Rall und Mayer, 1989). Hierfür stehen Angaben aus dem umfangreichen phänologischen Meßnetz des Deutschen Wetterdienstes zur Verfügung, in dem für die Rotbuche (*Fagus sylvatica*) die Zeiten folgender phänologischen Phasen erhoben werden: Beginn der Blattentfaltung, Beginn der Blüte, erste reife Früchte und Beginn der Blattverfärbung.

4 REAKTIONEN VON WALDBÄUMEN AUF WETTER- UND WITTERUNGSSTRESS

Bei Waldbäumen lassen sich primär zwei meteorologisch bedingte Schadensgruppen unterscheiden: (1) physiologische Schädigung des Stoff- und Gaswechsels und (2) direkte Schädigung von Pflanzenorganen durch äußere Stresswirkungen.

Stress auf Waldökosysteme läßt sich über Stresskonzepte analysieren. Danach wird unter Stress ein Belastungszustand verstanden, der eine außergewöhnliche Abweichung vom Lebensoptimum darstellt. Diese Beanspruchung ruft zunächst reversible Veränderungen und Reaktionen von allen Funktionsbereichen der Waldbäume hervor. Sie kann aber auch bleibende Folgen oder sogar den Tod verursachen. Auf Stress reagieren Waldbäume mit Antworten bzw. Reaktionen, die durch morphologische, physiologische und biochemische Anpassungen mögliche Schäden begrenzen oder verhindern sollen. Stressvorgänge lassen sich abstrahiert in einem Phasenmodell darstellen, das Trützler (1998) aufgrund von Angaben in der Literatur in folgendem Ablaufschema zusammengefaßt hat: Alarmphase - Restitutionsphase - Härtingsphase - Phase erhöhter Resistenz - Erschöpfungsphase. Dauert die Einwirkung des Stressfaktors zu lange an oder nimmt seine Intensität zu, setzt die Erschöpfungsphase ein. Das Reaktionsvermögen der Waldbäume ist dann überfordert; ihr Abwehr- und Adaptationspotential kann nicht weiter gesteigert werden. Die Waldbäume sind erheblich geschwächt und anfällig für weitere Stresssituationen. Es kann schließlich zu chronischen Schäden kommen, die letztlich bis zur letalen Schädigung führen.

Bei Waldbäumen können die Folgen von Stresssituationen sein: Steigerung der Atmung, Erhöhung der Transpiration, Stomaschluß, Hemmung der Photosynthese, Verringerung der photosynthetisch wirksamen Oberflächen, geringere Produktion von Biomasse, Wachstumsstörungen, Hemmung der Fortpflanzung und frühere Alterung sowie direkte Schäden an Pflanzenorganen.

LITERATUR

- Felbermeier, B., 1994: Die klimatische Belastbarkeit der Buche. Forstw. Cbl., 113, 152-174.
König, C.; Mayer, H., 1989: Klimastatistik, Bearbeitung im Hinblick auf neuartige Waldschäden. Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München Nr. 64.
Mayer, H., König, Ch., Rall, A., 1988: Identifikation von Witterungsereignissen mit pflanzenphysiologischer Stresswirkung für Waldbäume. Forstw. Cbl., 107, 131-140.
Rall, A.; Mayer, H., 1989: Klimatische Verhältnisse in Bayern im Hinblick auf die neuartigen Waldschäden. Wiss. Mitt. Meteor. Inst. Univ. München Nr. 63.
Trützler, J., 1998: Witterungsstress auf Buchenwälder in Mitteleuropa. Diplomarbeit, Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg.

SKALIERUNGSPROBLEME BIOKLIMATISCHER KOMPLEXGRÖßEN IN TROPISCHEN STÄDTEN

L. Katzschner

Fachbereich Stadt- und Landschaftsplanung, AG Luft, Universität Gesamthochschule Kassel
Henschelstr. 2, 34127 Kassel

ZUSAMMENFASSUNG

Durch eine immer dichter werdende Bebauung an den Küstenstraßen, die nicht selten bis zu 60 m Höhe geplant und schon realisiert wurde, sind in Salvador/Brasilien (6° S), trotz der kontinuierlich wehenden Passatwinde, hohe thermische Belastungen zu beobachten.

Thermische Belastungen können über die human-biometeorologischen Komplexgrößen definiert werden. Allerdings zeigt sich bei Befragungen in tropischen Regionen, daß die Skalierung im thermischen Empfinden nicht mit europäischem Maßstab gesehen werden kann. Weiterhin belegen die Messungen in Salvador große Inhomogenitäten auf engstem Raum. Verantwortlich dafür ist als dominierender Faktor die Variabilität der Windgeschwindigkeit.

1 EINLEITUNG

Die Förderung der natürlichen Ventilation einerseits und eine Minderung der direkten Sonnenstrahlung im Straßenraum sowie auf Plätzen andererseits sind Maßnahmen, um in tropischen Regionen die Wärmebelastung wirkungsvoll zu senken, was mit stadtklimatologischen Messungen belegt werden sollte. Salvador ist stark topographisch gegliedert. Die engen Täler (nord-süd ausgerichtet) sind windschwach und in der Regel ohne Vegetationsbestand, die Straßenräume durch den hohen Sonnenstand sehr heiß. Grundlage stadt- und raumplanerischer Umsetzungen ist eine von der VDI Kommission Human-Biometeorologie festgelegtes Verfahren, welches eine Bewertung des Bioklimas durch die Komplexgrößen PMV und PET liefert.

Am Beispiel einer Großstadt in den Tropen wird die thermische Komponente des Stadtklimas analysiert und einer Bewertung unterzogen. Grundlage sind Stadtklimamessungen mit deren Hilfe eine Stadtklimakarte erstellt wird. Ziel ist es, die für das thermische Empfinden dominierenden Parameter zu bestimmen, um entsprechen stadtplanerische Maßnahmen einzuleiten.

2 PROBLEMSTELLUNG

Unter dem Begriff Skalierung wird im folgenden die Bewertungsproblematik der human-biometeorologischen Komponente des Stadtklimas verstanden. Dabei ist sowohl

- die absolute Größe der bioklimatischen Komplexgrößen
- und ihre räumlich-zeitliche Variation

planerisch relevant. Das thermische Empfinden ist in Abhängigkeit der Klimate zu sehen, so daß sich die thermischen Indices (s.o.) in ihrer Bewertungsskala verschieben. Die konkurrierenden Gesichtspunkte zwischen Lufthygiene und thermischem Empfinden, wie sie aus Europa bekannt sind, sind für die tropischen Regionen nicht vorhanden. Eine gestzliche Richtlinie für thermisches Empfinden ist, auch wegen der großen Varaibilität des thermischen Empfindens, weltweit nicht existent, so daß die planerische Umsetzung von Ort zu Ort unterschiedlich ausfallen wird.

3 ERGEBNISSE

Die rechnerische thermischen Bewertung mit PMV oder PET, wie sie die VDI Richtlinie vorsieht, hat - überprüft durch bei Befragungen mit gleichzeitigen Messungen (Dantas,1998) - die thermische Belastung überschätzt, so daß für die tropischen Regionen eine andere Kalibrierung benutzt werden muß oder die Werte nach Klimaeignungen klassifiziert werden sollten. Die Ergebnisse brachten für

die aus den Befragungen abgeleiteten Komfortbereiche für Innenbereiche in Natal/Brasilien folgende Mittelwerte: $T_1 = 26 \text{ }^\circ\text{C}$; $H = 23 \text{ hPa}$; $\text{rel.F.} = 75 \%$; Globetemperatur = $26.5 \text{ }^\circ\text{C}$; $T_{\text{mt}} = 27.7 \text{ }^\circ\text{C}$; $v = 0.4 \text{ m/s}$. Das entspricht einem PET von $26 \text{ }^\circ\text{C}$ und einem PMV von 0.5. Eine Wärmebelastung tritt nach Befragungen erst bei einem PET von $35 \text{ }^\circ\text{C}$ auf. Ein erster Ansatz solcher Zusammenhänge ist bei Mayer und Matzarakis zu finden (Matzarakis, 1996), indem sie Zuordnungen zum thermischen Empfinden mit physikalischen Werten herstellen, was in Tabelle 3 für tropische Gebiete verändert wurde.

Eine weitere Grundlage für die thermische Beurteilung ist auf jeden Fall eine Stadtklimaanalyse, die die Rahmenbedingungen für die mikroskaligen Messungen und Berechnungen abgibt. So ist die Analyse der Wärmeinsel Stadt in Abhängigkeit der Stadtstrukturen zu sehen. In Tabelle 1 sind z.B. die Werte der Wärmeinsel mit den Werten der kleinräumigen Inhomogenitäten dargestellt, aus denen hervorgeht, daß das Maximum der Wärmeinsel nicht auch das Maximum der Inhomogenitäten beinhaltet. Die Stadtklimaklassifizierung wurde nach Nutzungsstrukturen vorgenommen.

urban climate classification	air temperatures 12.00 °C	air temperature differences °C
HM	33,5	2,9
H	31,8	4,5
H'	30,2	6,4
Hd	32,7	1,8
D	33,3	1,2
I	32,9	2,5

Tabelle 1: Mittlere Lufttemperaturen einzelner Stadtquartiere in Salvador/Brasilien

Die Ergebnisse einer Fallstudie aus unterschiedlichen Strukturen Salvadors ist in Tabelle 2 dargestellt. Gemessen wurde neben den üblichen Parametern zur Bestimmung der bioklimatischen Komplexgrößen auch die Globetemperatur, aus der ebenfalls die mittlere Strahlungstemperatur bestimmt werden kann. Die Inhomogenität des thermischen Milieus in Abhängigkeit der topographischen und stadtstrukturellen Bedingungen ist offensichtlich und hängt dominant von der Windgeschwindigkeit ab. Ebenso kann der Baumschatten in den Straßen die thermische Belastung wesentlich senken. Nach Umfragen tritt thermischer Diskomfort, wie in Natal auch für Salvador, ab PET Werten von ca. $35 \text{ }^\circ\text{C}$ auf.

Meteorological parameters	Valley without ventilation	Valley with ventilation	Street with trees	Street without trees
Global radiation W/m^2	1050	1050	436	1068
Globe temperature ($^\circ\text{C}$)	56	54	45	51
Mean radiation temperature ($^\circ\text{C}$)	60.2	60.0	45.5	69.8
Air temperature ($^\circ\text{C}$)	32.1	31.8	30.5	30.9
Wind velocity (m/s)	0.2	3.2	2.5	2.5
Vapor pressure (mb)	21	20	25	22
Physiological equivalent temperature ($^\circ\text{C}$)	48.4	40.6	34.5	47.1

Tabelle 2: Ergebnisse von meteorologischen Messungen in Salvador/Bahia am 10.11.98 10.00 Uhr

Aus diesen Erkenntnissen heraus wurde eine weitere Tabelle (Tabelle 3) erstellt, die die thermischen Empfindungen mit den Indices in einen Zusammenhang stellt und darüber hinaus auch die Adaption

an die verschiedenen Klimate in Rechnung stellt. In die Tabelle wurden die brasilianischen Befragungen eingearbeitet. Darin ist eine Verschiebung der Wärmebelastung gegenüber der europäischen Einschätzung zu erkennen. Positive PMV Werte oder PET Werte von 30 °C wurden in den Tropen als neutral eingestuft, was sich mit den Befragungen in Natal deckt. Auch die in Nordamerika entwickelte Standard Effective Temperature (SET) (Markus 1980) verhält sich in ihrer Verschiebung ähnlich. D.h. aber auch, daß der definierte physiologische Stress nicht mit dem thermischen Empfinden der tropischen Bevölkerung übereinstimmt.

PMV	SET	PET °C	THERMAL SENSITIVITY european climate	THERMAL SENSITIVITY tropical climate	GRADE OF PHYSIOLOGICAL STRESS
			very cold	extrem cold	extreme cold stress
-3,5	10	4			
			cold	very cold	strong cold stress
-2,5	15	8			
			cool	cold	moderate cold stress
-1,5	20	12			
			slightly cool	cool	slight cold stress
-0,5		16			
	25	20	neutral		no thermal stress
0,5		24		neutral	
	30		slightly warm		moderate heat stress
1,5		28		slightly warm	
	35		warm		strong heat stress
2,5		32		warm	
	40		very hot		
3,5		36		hot	
		40		very hot	

Tabelle 3: Vorschlag für eine thermische Zuordnung nach Matzarakis, Mayer 1998, Freire 1986

4 SCHLUßFOLGERUNGEN

Für die thermische Bewertung des Stadtklimas sind die objektiv errechneten Komplexgrößen anwendbar, wenn sie hinsichtlich des thermischen Empfindens in Abhängigkeit der überregionalen Klimate angepaßt werden. Mehr empirische Studien, die gemessene oder berechnete Werte mit thermischem Empfinden in Relation setzen, müssen durchgeführt werden, um die Ungenauigkeiten, die in den bisherigen Veröffentlichungen vorhanden sind, zu verbessern.

LITERATUR

Dantas, V. 1998: Thermal Comfort Indices, Dissertation, USP, Sao Paulo

Freire, T.M. 1986: Natural ventilation in office buildings, Msc report Ballet School for Architecture, London

Markus T.A.; Moriss E.N. 1980: Buildings, Climate and Energy, Pitmann Publishing Ltd, London

Matzarakis, A.; Mayer, H. 1996: Another kind of environmental stress: thermal stress, WHO Newsletter no.18, Berlin

Verein Deutscher Ingenieure, 1996: Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung, VDI-Richtlinie Blatt 3787, Düsseldorf

Bioklimakarten als Grundlage für die Klimafolgenforschung im Humanbereich (Ein Beitrag zur Methodenentwicklung)

G. Jendritzky¹ und B. Tinz²

¹ Deutscher Wetterdienst, Stefan-Meier-Str. 4, 79104 Freiburg
Humboldt-Universität, Inst. f. Physik, AG Klimaforschung, Invalidenstr. 110, 10115 Berlin

Zusammenfassung

Eine Abschätzung der Gesundheitsrisiken bei Klimaänderungen erfordert eine szenarienbasierende Risikobewertung. Für die thermische Komponente sind dazu komplette Wärmebilanzmodelle als Bewertungsverfahren einzusetzen. Die notwendigen meteorologischen Input-Variablen erhält man aus Klimasimulationen mit AOGCMs. Dabei weist das Zeitscheibenexperiment des DKRZ mit ECHAM4 in T106-Auflösung zwar immer noch eine unbefriedigende Auflösung auf, die sich allerdings durch statistisches Downscaling verbessern ließe. Die globalen Bioklimakarten zeigen im Vergleich zum Zeitraum 1971-80 u.a. im Südwesten Europas eine deutliche Zunahme der Wärmebelastung im Juli für 2041-50. Damit wäre eine Erhöhung der Mortalitätsrate um 5% (in Deutschland um 3%) verbunden, wenn keinerlei Adaptationen an die veränderten atmosphärischen Umweltbedingungen stattfinden sollten. Neben den makro- und mesoskaligen klimatologischen Einflüssen einschließlich dem der urbanen Wärmeinseln sind bei der Szenarientwicklung auch demographische und sozio-ökonomische Effekte zu berücksichtigen.

1 Einleitung

Die Klimawirkungsforschung bedient sich auch bei Fragen der Gesundheitsrisiken durch Klimaänderungen der Methodik einer szenarienbasierenden Risikobewertung (McMichael et al., 1996; McMichael et al., 1997; Jendritzky, 1998). Da angenommen werden kann, daß in einer wärmeren Welt die deutlichste direkte Klimawirkung von nach Häufigkeit und Intensität veränderten Hitzeperioden ausgeht, müssen die Ergebnisse von Klimaänderungssimulationen auch thermophysiologisch relevant beschrieben werden. Szenarien müssen darüber hinaus eine angemessene räumliche Auflösung aufweisen und auch nicht-klimatologische Einflüsse berücksichtigen.

2 Methodik

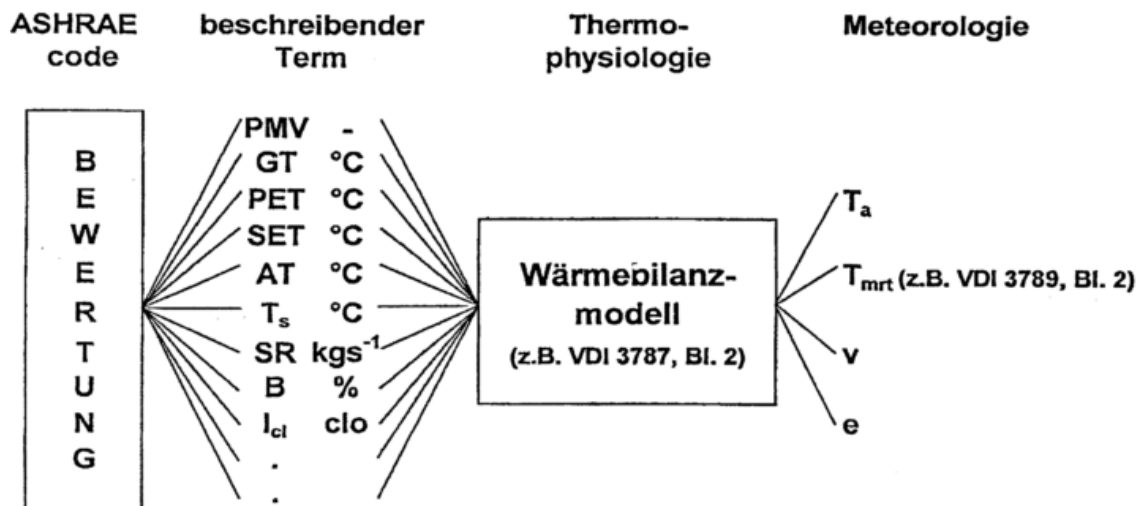
2.1 Bewertungsverfahren

State-of-the-Art für die Behandlung der komplexen Bedingungen der Wärmeabgabe des Menschen an die atmosphärischen Umweltbedingungen, bei der bekanntlich neben den meteorologischen Variablen Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit sowie kurz- und langwellige Strahlungsflüsse auch die Isolation der Bekleidung und die metabolische Rate (Energieumsatz als Funktion der Aktivität) eine Rolle spielen, sind komplette Wärmebilanzmodelle, etwa nach VDI 3787 Bl. 2 (s. Abb.). Häufig verwendete Ansätze sind die Behaglichkeitsgleichung von Fanger (1972), das MEMI von Höppe (1984) oder der vollständige Ansatz von Steadman. Als beschreibender Term ist das Predicted Mean Vote (PMV), eine auf Standardbedingungen bzgl. Aktivität, Bekleidung, Feuchte, Wind, Strahlung bezogene Temperatur (PET physiologisch effektive Temperatur (Höppe, 1984), GT gefühlte Temperatur (Staiger et al., 1997), AT apparent temperature), eingeschränkt auch Hauttemperatur T_{sk} , Schweißrate SR, Hautbenetzungsgrad B oder auch die Anforderung an die Isolation von Bekleidung denkbar. Die eigentliche Bewertung kann dann z.B. über die 7-teilige ASHRAE-Skala erfolgen.

Bei den meteorologischen Input-Daten machen die kurz- und langwelligen Strahlungsflüsse die größten Schwierigkeiten, da repräsentative Messungen in der Regel nicht zur Verfügung stehen, sie also aus üblichen synoptischen Beobachtungen über ein Strahlungsmodell, z.B. nach VDI 3789, Bl. 2, parametrisiert werden müssen. Eventuell lassen sich auch die berechneten Strahlungsflüsse aus prognostischen numerischen Modellen nutzen. Die Strahlungsflüsse werden über eine mittlere Strahlungstemperatur T_{mrt} auf die besondere Geometrie eines (in der Regel aufrecht

stehenden) Menschen bezogen, wobei wegen dieser Abweichung von der üblichen meteorologischen Betrachtungsweise zwischen den direkten und diffusen Anteilen der Sonnenstrahlung unterschieden werden muß. Unterschiede in den Annahmen bei der Modellierung der Strahlungsflüsse führen in aller Regel zu größeren Unterschieden in der Bewertung als die in der Praxis eher marginalen Unterschiede zwischen den Wärmebilanzmodellen nach VDI 3787, Bl. 2.

Thermophysologische Bewertung der thermischen Umweltbedingungen



2.2 Bioklimakarten

Die räumliche Bewertung der thermischen Umweltbedingungen des Menschen erfolgt in Form von Bioklimakarten in an die jeweilige Fragestellung angepaßten Maßstäben (Jendritzky et al., 1990). Da hier vorgesehen ist, Szenarien aus Simulationsrechnungen mit AOGCMs abzuleiten, ist die sehr grobe Auflösung durch diese Klimamodelle vorgegeben.

Einen gewissen Fortschritt brachte das sog. Zeitscheibenexperiment mit ECHAM4 in T106-Auflösung (1.25° zonal und meridional (ca. 110 km in 30° N bzw. 30° S); 320 x 160 = 51.200 Gitterpunkte), das 1998 am DKRZ in Zusammenarbeit mit zwei schweizer Gruppen von der Uni Freiburg und der ETH Zürich durchgeführt wurde. Dabei wurde der „Status-Quo“ des Klimas im Zeitraum 1971-80 als Kontrolllauf CTRL mit dem damals aktuellen effektiven CO₂ simuliert. Zwecks Einsparung von Rechenzeit erfolgte die weitere Rechnung bis 2040 in der größeren T42-Auflösung, woran sich dann die zweite interessierende Zeitscheibe 2041-2050 wieder in T106 anschloß.

Als meteorologische Daten standen für die beiden zehnjährigen Zeitscheiben tgl. für 00, 06, 12, 18 UTC Lufttemperatur, Taupunkt, Windgeschwindigkeit und (über das Strahlungsmodul aus dem Klima-Michel-Modell) die mittlere Strahlungstemperatur zur Verfügung. Daraus wurde die gefühlte Temperatur GT berechnet (Staiger et al., 1997). Um das Problem des Bezugs der Daten auf gleiche wahre Ortszeit zu umgehen, wurde aus den vier GT-Werten eines Tages ein Tagesmittel und aus den entsprechenden Werten eines Monats das jeweilige Monatsmittel gebildet. Auf dieser Datenbasis lassen sich globale Monatskarten des Status-Quo, und des simulierten zukünftigen Bioklimas erzeugen (Jendritzky, G., 1999).

Die Bioklimaänderung als Differenz beider Zeitscheiben zeigt im Ausschnitt Europa für das südliche Mitteleuropa und das westliche Südeuropa im Juli eine deutliche Zunahme der Wärmebelastung bis zu 7 K beim Monatsmittel von GT, in Deutschland zwischen 3 und 4 K. Praktisch keine Änderungen werden für das mittlere und nördliche Skandinavien prognostiziert.

Die Ergebnisse der Simulationen sind wegen der bekannten Unzulänglichkeiten der AOGCMs jedoch mit Vorsicht zu behandeln. Das beschriebene Vorgehen versteht sich in erster Linie als Beitrag zur Methodenentwicklung.

2.3 Prognose der Gesundheitsrisiken

Auch in gemäßigten Klimaten nimmt die tgl. Mortalitätsrate sowohl bei der Gesamtmortalität sowie bei Herz-Kreislauf- und Atemwegserkrankungen als Todesursache mit zunehmender thermischer Belastung überproportional zu (Jendritzky et al., 1998). Dies betrifft überwiegend die ältere Bevölkerung. Es gibt Hinweise, daß der urbane Wärmeinseleffekt, und damit der Anstieg der Minimumtemperatur, bedeutsam ist. Global gesehen spielen sozio-ökonomische Fragen, Gesundheitsstatus der Bevölkerung, Lebensstile, etc. eine wesentliche Rolle. Martens (1998) kommt über eine Meta-Analyse zu dem Schluß, daß in einer wärmeren Welt bei Hitzewellen zwar die Mortalität ansteigt, dies aber durch eine verminderte Wintermortalität durch weniger Kältestress sogar überkompensiert wird.

Eine einfache Hochrechnung der Änderung der Mortalitätsraten in den Juli-Monaten 2041-50 auf der Basis der Ergebnisse von Jendritzky et al. (1998) liefert maximale Werte von 5% in Zentralspanien. In Deutschland liegt der erwartete Mortalitätsanstieg bei maximal 3%. Dabei wurde allerdings keinerlei Akklimatisation berücksichtigt: weder thermoregulatorisch oder durch Verhaltensanpassung, noch durch Veränderung in der Stadtplanung oder durch Klimatisierung.

3 Ausblick

Eine Verbesserung der für humanbioklimatologische Fragestellungen auch bei T106 noch unbefriedigenden Auflösung läßt sich z.B. durch statistisches Downscaling erreichen, indem die Beziehung zwischen dem Kontrolllauf und den existierenden Bioklimakarten Europa in 5'-Auflösung auf das Ergebnis der Klimaänderungszeitscheibe entsprechend angewendet wird (v. Storch, 1994). Die grundsätzlichen Unsicherheiten in der Klimasimulation werden dadurch aber nicht ausgeräumt.

Szenarien für die Risikobewertung müssen stärker als bisher die nicht-klimatologischen demographischen, sozioökonomischen und politischen Einflüsse berücksichtigen, die wesentlich mit der Frage der Adaptation der betroffenen Population verknüpft sind.

Literatur

- Fanger, P.O., 1972: Thermal Comfort, Analysis and Application in Environmental Engineering. Mc. Graw Hill, New York.
- Höppe, P. 1984: Die Energiebilanz des Menschen. Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Uni München Nr. 49.
- Jendritzky, G., Menz, G. Schirmer, H., Schmidt-Kessen, W., 1990: Methodik zur raumbezogenen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen (Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell). Beiträge d. Akad. f. Raumforsch. u. Landesplg. Bd. 114, Hannover.
- Jendritzky, G. 1998: Gesundheitsrisiken durch Klimaänderungen. Umweltmed Forsch Prax 3 (2), ecomed, 72-76.
- Jendritzky, G., Bucher, K., Bendisch, F., Walther, H. 1998: The Mortality/Climate Study of the Deutscher Wetterdienst. In: Preprints of The 13th Conference on Biometeorology and Aerobiology in Albuquerque 2-6 November 1998, AMS, 297-300.
- Jendritzky, G. 1999: Einwirkungen von Klimaänderungen auf die Gesundheit des Menschen in Mitteleuropa. Klimastatusbericht 1998. DWD, Offenbach.
- Martens, P. 1998: Health and Climate Change. Modelling the Impacts of Global Warming and Ozon Depletion. Earthscan, London.
- McMichael, A.J., Haines, A., Sloof, R., Kovats, S. (coord. WMO/WHO/UNEP-Task Group), 1996: Climate Change and Human Health. WHO, Geneva.
- McMichael, A.J., Jendritzky, G., Kovats, S., 1997: Klimaänderung und Gesundheit. In: Wichmann, H.E., Schlipkötter, H.W., Füllgraß, G. (Hrsg.): Handbuch der Umweltmedizin Kap. VIII-1.10. ecomed, Landsberg, 1-21.
- Staiger, H., Bucher, K., Jendritzky, G., 1997: Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestreß beim Aufenthalt im Freien mit der Maßzahl Grad Celsius. Ann. d. Meteorologie 33, DWD, Offenbach, 100-107.
- v. Storch, H., 1994: Inconsistencies at the Interface of Climate Impact Studies and Global Climate Research. Proceedings 13th Int. Congress Biometeorology 12-18 September 1993, Calgary, Canada, Environment Canada, Downsview, Part 2, Vol 1, 54-67.
- VDI 3789 Bl. 2, 1994: Umweltmeteorologie. Wechselwirkungen zwischen Atmosphäre und Oberflächen. Berechnung der kurz- und langwelligen Strahlung.
- VDI 3787 Bl.2, 1998: Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima.

MODELLIERUNG BIOKLIMATISCHER KENNZIFFERN IN WALD UND FREILAND MIT DEM GEKOPPELTEN VEGETATIONS-GRENZSCHICHTMODELL HIRVAC

Valeri Goldberg

Technische Universität Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie
Piener Str. 9, 01737 Tharandt

ZUSAMMENFASSUNG

Aus agrar- und forstmeteorologischer sowie erholungsklimatischer Sicht besteht ein großes Interesse an der Beschreibung des thermischen Reizklimas einer Wald-Feld-Landschaft. Die raum-zeitlich variablen Kennziffern zur Charakterisierung dieses Reizklimas hängen von meteorologischen Größen wie z.B. Strahlung, Temperatur und Windgeschwindigkeit ab, die durch Messung nur in begrenztem Umfang erfaßt werden können.

Mit dem Einsatz des prognostischen Vegetations-Atmosphären-Modell HIRVAC (=High Resolution Vegetation Atmosphere Coupler: Goldberg, 1998) können bioklimatische Kennziffern hinsichtlich der Unterschiede im Bereich hoher Waldbestände bzw. zwischen Wald und Freiland in hoher zeitlicher Auflösung quantifiziert werden. Neben der üblichen Darstellung der Kennziffern im Aufenthaltsbereich des Menschen (0...2 m) werden für eine erweiterte Charakterisierung des thermischen Milieus von Wald-Feld-Landschaften Vertikalprofile für den gesamten Vegetationsbereich (0-30m) berechnet.

Erste Modellergebnisse zur gefühlten Temperatur (VDI 3787, 1998; Staiger et al., 1997) zeigen die Unterschiede in den betrachteten Größen zwischen Wald und Freiland besonders abhängig vom Strahlungs- und Windeinfluß.

1 EINLEITUNG

Die Kenntnis des thermischen Milieus von Wald-Feld-Landschaften spielt sowohl bei der human-biometeorologischen Bewertung von Kurklimaten als auch bei der Einschätzung der Schutzwirkung des Waldes, beispielsweise bei frost- und strahlungsempfindlichen land- und forstwirtschaftlichen Kulturen sowie den Arbeitsbedingungen der Land- und Forstwirte eine Rolle.

Durch Aufbau von Meßnetzen werden die notwendigen meteorologischen Eingangsgrößen zur Ermittlung der das thermische Milieu charakterisierenden bioklimatischen Kennziffern erfaßt. In der zeitlichen und räumlichen Dichte und Kontinuität sind der experimentellen Datenerfassung jedoch Grenzen gesetzt. Durch Einsatz geeigneter Modelle können die meteorologischen Eingangsdaten zur Berechnung der Kennziffern sinnvoll ergänzt und erweitert werden. Ein solches Modell sollte einerseits die meteorologischen Prozesse im kleinskaligen Bereich physikalisch richtig wiedergeben und andererseits für den möglichen Einsatz in der operationellen Praxis rechenzeitökonomisch vertretbar sein. Das gekoppelte Vegetations-Atmosphären-Modell HIRVAC erfüllt diese „Kriterien“ und wurde für diese Modellstudie anhand einer bioklimatischen Kennziffer (gefühlte Temperatur) für die Eignung zur Charakterisierung des thermischen Milieus einer Wald-Feld-Landschaft getestet.

2 METHODIK

Das verwendete Modell HIRVAC (High Resolution Vegetation Atmosphere Coupler: Goldberg, 1998) ist ein atmosphärisches Grenzschichtmodell (HUB, Mix et al., 1994), das mit dem Gaswechselmodell auf Einzelblattebene (PSN6, Falge et al., 1996) gekoppelt wurde (Abb. 1). Dieses Modell ist in der Lage, meteorologische Prozesse in der atmosphärischen Grenzschicht unter optioneller Berücksichtigung der Wechselwirkung vertikal ausgedehnter Vegetationsschichten mit der Atmosphäre zu beschreiben. Die Modelleingangsgrößen werden entweder aus der Literatur und synoptischen Datensätzen bereitgestellt oder sind ebenfalls Ergebnis einer Modellsimulation (z.B. Strahlung). Der Modelloutput umfaßt sämtliche zur Berechnung von bioklimatischen Kennziffern benötigte meteorologische Größen, so daß entsprechende Kennziffern in gleicher räumlicher und zeitlicher Auflösung wie die übrigen Modellergebnisse dargestellt werden können.

Als Testgröße wurde die Vertikalverteilung der gefühlten Temperatur (VDI 3787, 1998; Staiger et al., 1997) für einen homogenen Fichtenwald und eine Freifläche berechnet.

High Resolution Vegetation Atmosphere Coupler (HIRVAC)

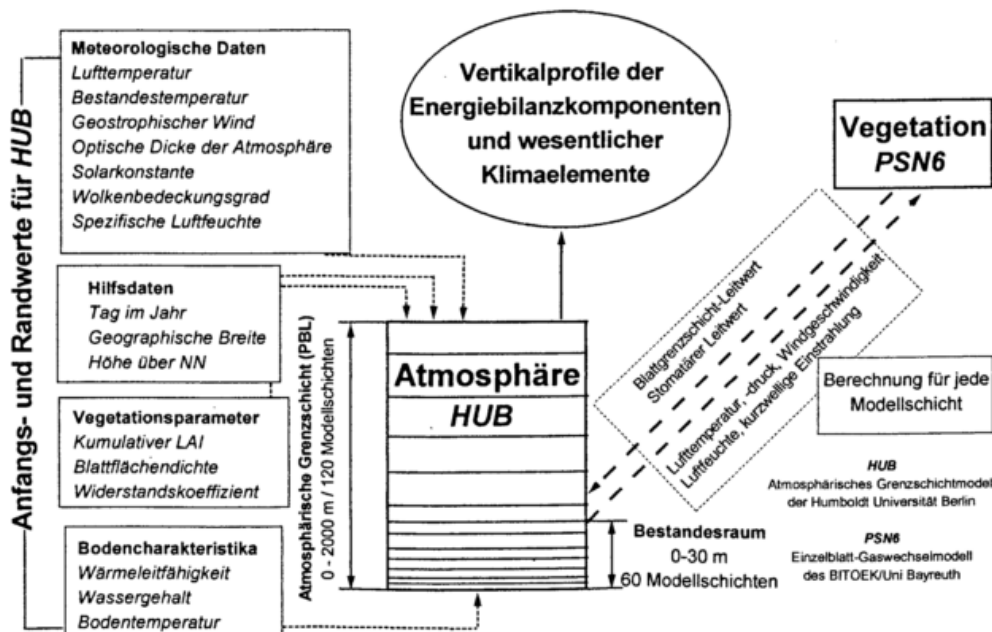


Abbildung 1: Schema des Modells HIRVAC

3 ERGEBNISSE

Die gefühlte Temperatur ist funktional an den PMV-Wert (PMV - Predicted Mean Vote) gebunden und ist somit ein äquivalentes Maß zur Beurteilung des thermischen Empfindens eines Menschen. Zu- grunde gelegt wird dabei im speziellen Fall eine 35 Jahre alte, leicht bekleidete Standardperson von 75 kg Gewicht, 1,75 m Größe und einer Arbeitsleistung von 172,5 W (Staiger et al., 1997). Dabei ent- spricht die gefühlte Temperatur der Temperatur einer Standardumgebung, bei der der gleiche PMV- Wert wie unter den aktuellen Bedingungen auftritt (Staiger et al., 1997). Im speziellen Fall entspricht diese Standardumgebung den Bedingungen in einem ausgedehnten und dichtstehenden Wald. Besonders große Unterschiede in den Werten der gefühlten Temperatur treten unter sommerlichen Strahlungsbedingungen auf, wenn der Abschattungseffekt dichter Waldbestände gegenüber angren- zenden Freiflächen am stärksten hervortritt.

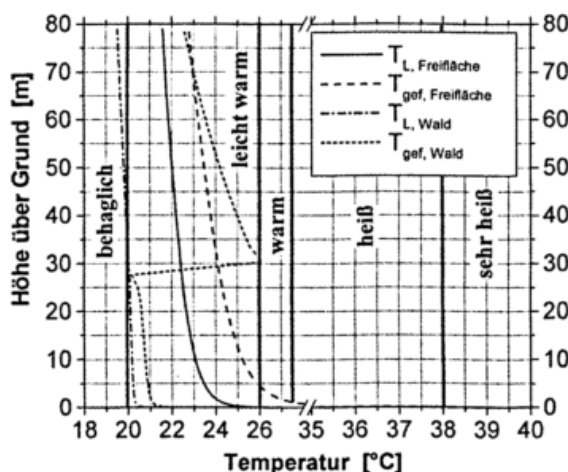


Abbildung 2: Vertikalverteilung der Lufttempe- ratur und der gefühlten Temperatur in einem Fichtenaltbestand und einer Freifläche für den 21.Juni, 13:00 lokaler Zeit, geographi- sche Breite 48° und wolkenlose Verhältnisse

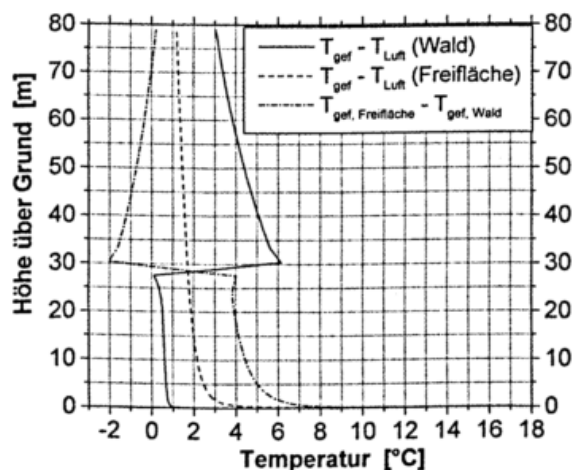


Abbildung 3: Vertikalverteilung der Differenz von Lufttemperatur und gefühlter Temperatur in einem Fichtenaltbestand und einer Freifläche für den 21.Juni, 13:00 lokaler Zeit, geographische Breite 48° und wolkenlose Verhältnisse

Für den Modelltestlauf wurde der 21. Juni, 13:00 lokaler Zeit und die geographische Breite von 48° gewählt. Abbildung 2 zeigt Vertikalprofile der Lufttemperatur und der gefühlten Temperatur im Bereich von 0 bis 80 m für einen 30 m hohen Fichtenaltbestand (75% Kronenschlußgrad, entsprechend den Bedingungen an der Ankerstation Tharandter Wald) und eine angrenzende Freifläche (Wiese). Abbildung 3 zeigt die entsprechenden Differenzen zwischen Lufttemperatur und gefühlter Temperatur.

Deutlich kommt die unterschiedliche Einflußnahme der meteorologischen Größen Strahlung und Wind auf den Betrag der gefühlten Temperatur zum Ausdruck. Im dichten Waldbestand dominiert an einem wolkenlosen Sommertag die Strahlungsabschirmung gegenüber dem reduzierten Abkühlungseffekt des Windes, so daß die Absolutbeträge von Lufttemperatur und gefühlter Temperatur relativ gering und die Differenz klein bleibt. Oberhalb des Bestandes nimmt der Strahlungseinfluß stärker zu als der windbedingte Abkühlungseffekt, so daß es zu einem starken Anstieg der gefühlten Temperatur und der Differenz zur Lufttemperatur kommt. Auf der Freifläche dominiert der Strahlungseinfluß die Beträge der gefühlten Temperatur, so daß es vor allem in den unteren Höhenbereichen, wo die Windgeschwindigkeit infolge Bodenreibung gering bleibt, zu hohen Beträgen der gefühlten Temperatur kommt. Mit der vertikalen Zunahme der Windgeschwindigkeit nimmt auch der Abkühlungseffekt zu, während der Strahlungseinfluß konstant bleibt, und die gefühlte Temperatur nimmt mit der Höhe ab. Im Niveau der Bestandesobergrenze ist die Windgeschwindigkeit im Freiland deutlich höher als über dem Waldbestand, so daß bei gleichem Strahlungseinfluß die gefühlte Temperatur über dem Wald um etwa 2K höher liegt.

Die Einordnung der Modellergebnisse in die thermischen Empfindungsklassen in Abb. 2 (vgl. Staiger et al., 1997) zeigt, daß sich das Temperaturregime innerhalb des Waldbestandes im behaglichen bis leicht warmen Empfindungsbereich befindet, während auf der Freifläche besonders der untere, für den Menschen vorrangig interessante Höhenbereich im warmen bis heißen Empfindungsbereich liegt. Oberhalb des Vegetationsniveaus bewegen sich die gefühlten Temperaturen in Wald und Freiland gleichermaßen im warmen Empfindungsbereich.

4 SCHLUßFOLGERUNG UND AUSBLICK

Die Ergebnisse haben gezeigt, daß das Modell HIRVAC prinzipiell in der Lage ist, den Einfluß unterschiedlicher Landnutzung (Wald, Freifläche) auf die Vertikalverteilung bioklimatischer Kennziffern zur Beschreibung des thermischen Milieus wiederzugeben. So konnten z.B. für einen wolkenlosen Hochsommertag Beträge der gefühlten Temperatur quantifiziert werden, die innerhalb eines dichten Waldbestandes dem thermischen Behaglichkeitsbereich zuzuordnen sind, während gleichzeitig auf der Freifläche thermische Belastung auftrat. Diese Ergebnisse entsprechen der allgemeinen Erfahrung, daß an strahlungsreichen Sommertagen gut beschattete Waldgebiete günstigere thermische Bedingungen aus human-biometeorologischer Sicht als besonnte Freiflächen aufweisen.

Mit der Berechnung von Vertikalprofilen der gefühlten Temperatur werden die üblicherweise im Aufenthaltsbereich des Menschen (0...2 m) dargestellten bioklimatischen Kennziffern erweitert. Damit ergeben sich neue Anwendungsmöglichkeiten, z.B. bei der Beschreibung des thermischen Milieus in der Umgebung von Aussichts- und Feuerwachtürmen sowie von jagdwirtschaftlichen Einrichtungen.

Durch weitere Modellrechnungen und einen Vergleich der Modellergebnisse mit Meßwerten soll die Fähigkeit des Modells HIRVAC unter Beweis gestellt werden, den Einfluß unterschiedlicher Landnutzung auf das meteorologische Regime im unteren Atmosphärenbereich aus human-biometeorologischer Sicht abzuschätzen.

LITERATUR

- Falge, E., Graber, W., Siegwolf, R., Tenhunen, J.D., 1996: A model of the gas exchange response of *Picea abies* to habitat conditions. *Trees* 10, 277-287.
- Goldberg, V., 1998: Abschätzung der Bedeutung von Koppelungsprozessen zwischen Vegetation und Atmosphäre für die Verdunstung – Ergebnisse des Modells HIRVAC. *Annalen der Meteorologie* 37, 1, 247-248.
- Mix, W., Goldberg, V., Bernhardt, K.-H., 1994: Numerical experiments with different approaches under large-area forest canopy conditions. *Meteorol. Zeitschrift (N.F.)* 3, 4, 187-192.
- Staiger, H., Bucher, K., Jendritzky, G., 1997: Gefühlte Temperatur. Die physiologisch gerechte Bewertung von Wärmebelastung und Kältestreß beim Aufenthalt im Freien mit der Maßzahl Grad Celsius. *Annalen der Meteorologie* 100-107.
- VDI 3787, Blatt 2, 1998: Umweltmeteorologie – Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt und Regionalplanung.

STADTKLIMA - INFORMATIONEN ÜBER INTERNET

Andreas Matzarakis (*), Jürgen Baumüller (**) und Helmut Mayer (*)

(*) Meteorologisches Institut der Universität Freiburg, D-79085 Freiburg

(**) Amt für Umweltschutz, Abt. Stadtklimatologie, der Landeshauptstadt Stuttgart,
Gaisburgstr. 4, D-70180 Stuttgart

Die *Internationale Stadtklima Homepage* (URL Adresse <http://www.stadtklima.de>) ist ein Gemeinschaftsprojekt zwischen der Abteilung Stadtklimatologie des Amtes für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart und dem Meteorologischen Institut der Universität Freiburg. Die Idee zur *Internationalen Stadtklima Homepage* entstand während des zweiten Japanisch-Deutschen Symposiums „Klimaanalyse in der Stadt-planung“ im September 1997 in Kobe (Japan).

Ziel und Zweck der *Internationalen Stadtklima Homepage*, die laufend ergänzt und fortgeschrieben wird, sind Sammlung und Bereitstellung von Informationen rund um das Stadtklima. Den Schwerpunkt bilden die thermische und lufthygienische Komponente des Stadtklimas.

Zur Zeit enthält die *Internationale Stadtklima Homepage* folgende Informationen:

- ** Zusammenstellung von Städten (weltweit), die Hinweise zum Stadtklima anbieten und in denen Untersuchungen zum Stadtklima durchgeführt worden sind. Zu diesen Städten enthält die *Internationale Stadtklima Homepage* allgemeine Informationen, sowie Klima- und Lufthygienedaten, ferner Namen und Anschriften von Kontaktpersonen bzw. -institutionen.
- ** Angaben über bereits durchgeführte, laufende und geplante Untersuchungen in der Stadtklimatologie (mit Hinweisen auf publizierte Ergebnisse).
- ** Listen (geordnet nach Kontinenten) von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern im Bereich der Stadtklimatologie und verwandten Disziplinen.
- ** Informationen über Veranstaltungen zur Thematik „Stadtklima“.
- ** Literatur zum Stadtklima; hier sind u.a. ein Wörterbuch und das „Internet Handbuch der Stadtklimatologie“ vorgesehen.
- ** Hilfsmittel/Tools zum Stadtklima; sie bilden derzeit den größten Umfang der *Internationalen Stadtklima Homepage*; hier ist Platz für frei verfügbare Modelle zum Stadtklima und verwandte Software sowie für Instrumentierungen bei Stadtklimauntersuchungen.

RAUMKLIMA UND THERMISCHE BELASTUNG - ERGEBNISSE LEIPZIGER UNTERSUCHUNGEN¹

U. Müller

Institut für Meteorologie der Universität Leipzig, Stephanstr. 3, 04103 Leipzig

ZUSAMMENFASSUNG

Die im Rahmen eines Forschungsvorhabens zur thermischen Belastung in ausgewählten Leipziger Innenräumen (Wohnungen, Kindereinrichtungen, Büro, Straßenbahnen und Busse) erzielten Ergebnisse werden vorgestellt. Im Winterhalbjahr lassen sich über die Heizungsregelung im allgemeinen thermisch behagliche Verhältnisse einstellen. Allerdings können die vorgefundenen niedrigen relativen Luftfeuchtigkeiten insbesondere in Kindereinrichtungen und der geringe Frischluftstrom bei modernen Fenstern mit Abdichtung problematisch werden. In den Sommermonaten läßt sich eine verstärkte thermische Belastung der Raumnutzer nachweisen. Anhand bekannter bioklimatischer Bewertungsgrößen werden unter Verwendung der festgestellten Raumklimate und langjähriger Leipziger Klimadaten Simulationsbetrachtungen zur thermischen Belastung vorgenommen.

1 EINLEITUNG

Bei Untersuchungen zur thermischen Belastung des Menschen werden im allgemeinen außenklimatische Daten zugrunde gelegt. Angesichts der Tatsache, daß sich der moderne Stadtmensch etwa 90 % und mehr seiner Zeit in geschlossenen Räumen aufhält, verdienen die Indoorverhältnisse besondere Beachtung.

Ziel dieser Untersuchung ist die Erfassung, Bewertung und Normierung der thermischen Belastung von Probanden in ausgewählten Innenräumen - vier Wohnungen WG 1 - 4, vier Kindereinrichtungen KE 1 - 4, einem Büroraum BR, Straßenbahnen, Bussen und Personenkraftwagen - der Stadt Leipzig.

2 METHODIK

Die Untersuchungen wurden während insgesamt neun, einen Monat andauernden Meßkampagnen im Februar, Mai, August und November 1997 und 1998 sowie Februar 1999 vorgenommen.

Es lassen sich folgende Schwerpunkte nennen:

- Erfassung der relevanten innen- und außenklimatischen Einflußgrößen
Innenräume: Lufttemperatur, -feuchte, -geschwindigkeit, Temperatur der Umschließungswände, Lüftung
Außenklima: Lufttemperatur, -feuchte, Wind, Globalstrahlung, Bedeckung
- Befragung der Probanden in den Meßobjekten auf der Basis des entworfenen raumklimatischen Behaglichkeitsfragebogens:
Anthropogene Angaben, Bekleidung, Aktivität, thermisches Befinden, Heizungs- und Lüftungsgewohnheiten
- Modellierung der thermischen Belastung der Probanden unter Verwendung der Raumklimaparameter mit den bekannten Bioklimamodellen

3 ERGEBNISSE

In dieser Kurzdarstellung werden zunächst beispielhaft ausgewählte Meßergebnisse gebracht.

In der Abb. 1 sind zunächst die Lufttemperaturen während winterlicher Verhältnisse in zwei Wohnungen dargestellt. Sehr konstante Lufttemperaturen weist das wenig gelüftete Wohnzimmer WZ des Meßobjektes WG 1 (Gebäude mit Außenwandwärmedämmung und abgedichteten Fenstern) auf. Infolge intensiver nächtlicher Fensterlüftung ergeben sich im Schlafzimmer (SZ) des gleichen Objektes charakteristische Temperaturschwankungen. Ein ähnlicher, allerdings abgeschwächter Tagesgang zeigt sich im Meßobjekt WG 2 / WZ (ofengeheizter Plattenbau ohne Außenwandwärmedämmung und alte Fenster mit Fugen).

Zwei Beispiele veranschaulichen die unter winterlichen bzw. hochsommerlichen Außenbedingungen auftretenden Indoorverhältnisse in Leipziger Verkehrsmitteln (Abb. 2 und 3). Bei Außentemperaturen

¹ Diese Untersuchungen sind in den interdisziplinären Forschungsverbund „Konzepte zur umwelt- und sozialverträglichen Entwicklung von Stadtregionen“ des UFZ-Umweltforschungszentrums Leipzig - Halle GmbH integriert und werden von dieser Großforschungseinrichtung finanziert. Eine ausführliche Veröffentlichung der erzielten Ergebnisse ist als UFZ-Bericht vorgesehen.

um 0 °C werden in den modernen Straßenbahnwagen Innentemperaturen von 16 - 21 °C erreicht. Deutlich erkennbar sind die kurzzeitigen Störungen an den Haltestellen infolge Öffnen der Türen.

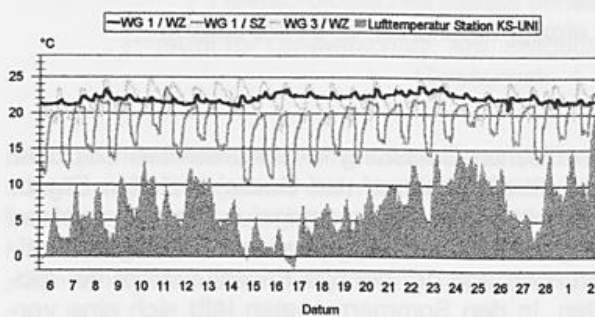


Abb. 1 Lufttemperaturverhältnisse in zwei Wohnungen im Februar/März 1997
Stundenwerte

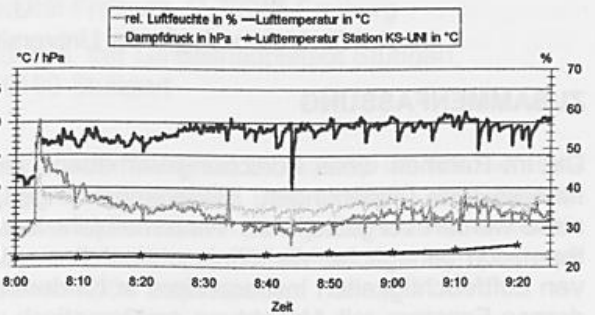


Abb. 2 Raumklimatische Verhältnisse in einer Straßenbahn (Typ: Niederflrwagen NGT-8) am 17.2.1997

Unter hochsommerlichen Verhältnissen kommt es zu einer erheblichen thermischen Belastung der Fahrgäste (Abb. 3). Wie die Fahrgastbefragungen (Abb. 4) ergaben, konnten diese hohen Belastungen auch durch entsprechende Bekleidung nicht kompensiert werden. Im allgemeinen fühlen sich die Fahrgäste der Leipziger Nahverkehrsmittel in den Monaten Februar/März, Mai und November behaglich. Unter winterlichen Bedingungen bewirken trotz der hohen clo-Werte der Bekleidung die niedrigen mittleren Strahlungstemperaturen thermisch neutrale Verhältnisse.

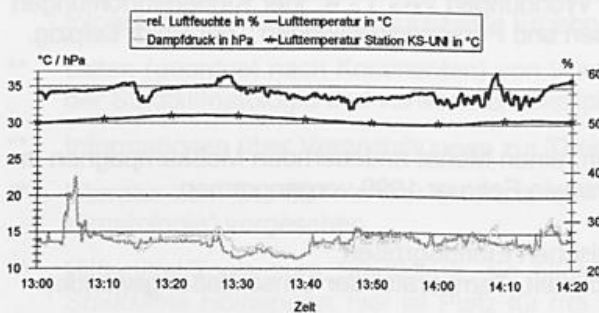


Abb. 3 Raumklimatische Verhältnisse in einem Bus (Typ: Ikarus) am 21.8.1997

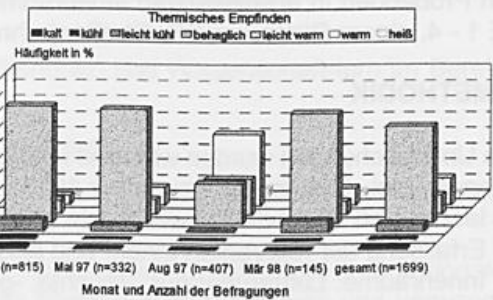


Abb. 4 Ergebnisse der Fahrgastbefragungen in Leipziger Straßenbahnen und Bussen

Die Probandenbefragungen im Büroraum, in den Wohnungen und Kindereinrichtungen erbrachten in Wintermonaten trotz der Möglichkeit der Einstellung der Lufttemperatur mit den modernen Heizungen keine durchweg befriedigende Einschätzungen zum thermischen Empfinden (Abb. 5); zum überwiegenden Teil entfielen die Bewertungen allerdings auf die Klassen leicht kühl bis leicht warm.

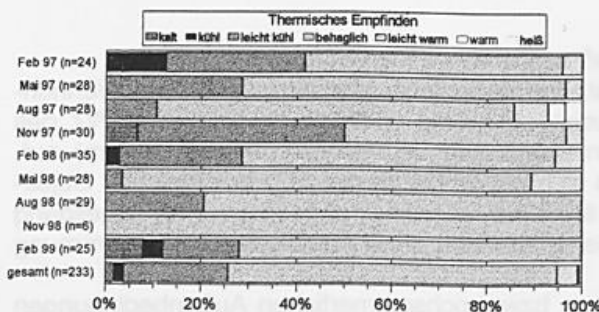


Abb. 5 Ergebnisse der Probandenbefragungen im Meßobjekt WG 4 (weibliche Versuchsperson)

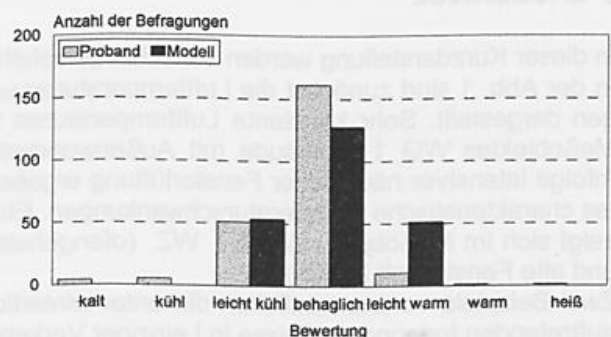


Abb. 6 Vergleich Proband - Modell Meßobjekt WG 4 (weibliche Versuchsperson) Meßkampagnen 1 - 9, Anzahl n=233

Bei Einzelfallbetrachtungen zeigte es sich, daß trotz gleicher Bedingungen abweichende Bewertungen vorgenommen wurden. Es ist bekannt, daß auch andere Faktoren einen Einfluß haben können. Der Vergleich Probandenaussage und Modellgröße PET erbrachte unter Verwendung der von Matzarakis und Mayer (1996) angegebenen Bereichsgrenzen weitgehende Übereinstimmung (Abb. 6), wobei im allgemeinen durch die Probanden alle und vom Modell wie zu erwarten die mittleren Bewertungsklassen belegt wurden.

Über eine Modellierung (VDI-Richtlinie 3787, 1998) wurden die thermischen Verhältnisse in den ausgewählten Innenräumen bewertet. Simuliert wurden Fallbeispiele mit unterschiedlicher Bekleidung und Aktivität:

Fall A Sitzen, Fall B Stehen, Fall C leichte Haus- bzw. Büroarbeit (alle mit leichter Sommerbekleidung), Fall D Sitzen, Fall E Stehen, Fall F leichte Haus- bzw. Büroarbeit (alle mit korrektem Straßenanzug bzw. Kostüm).

In Abb. 7 sind die PMV-Werte für die aufgeführten Fallbeispiele dargestellt. Zunächst wurden die während der Meßkampagnen 1 - 9 festgestellten Extrema der Lufttemperatur und des Dampfdruckes herangezogen (Abb. 7a). Unter Zugrundelegung der bei den Meßeinsätzen festgestellten gesicherten Abhängigkeiten der Tageswerte der Lufttemperatur und des Dampfdruckes außen-innen sowie langjähriger Klimadaten von Leipzig (Naegler, 1936) - größte und kleinste mittlere sowie absolut höchste und tiefste Tagesmittel der Lufttemperatur und die Monatsmittel des Dampfdruckes - wurden die Temperaturen und die Dampfdrücke in den Innenräumen bestimmt. In der Abb. 7b sind damit für jedes Fallbeispiel der Monate Mai bis September jeweils vier Säulendarstellungen enthalten.

Bei diesen Betrachtungen wurden eine Luftgeschwindigkeit von $v = 0,1 \text{ m/s}$ und eine Übereinstimmung zwischen mittlerer Strahlungstemperatur und Lufttemperatur angenommen; in diesen Beispielen blieb die Sonneneinstrahlung unberücksichtigt. In weiteren Simulationen wurden auch die für Leipzig maximal möglichen Globalstrahlungswerte herangezogen und die in Ost-, Süd- und Westräume eindringende direkte Sonnenstrahlung bestimmt, die zu einer Erhöhung der mittleren Strahlungstemperatur führt.

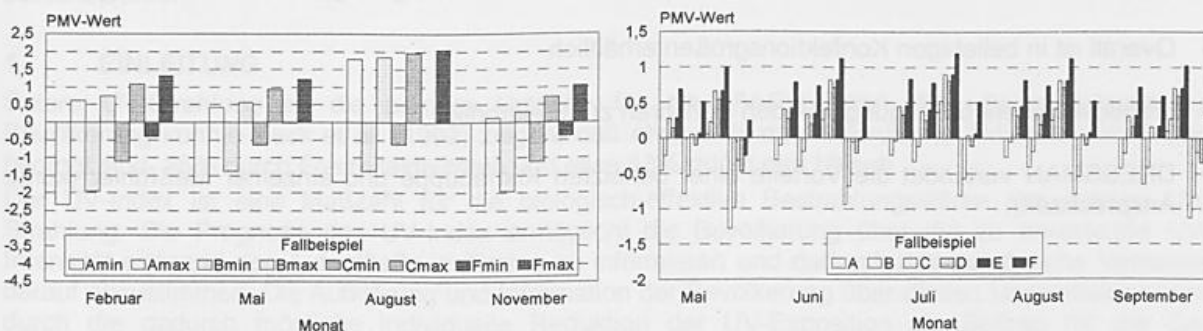


Abb. 7 Modellierung der thermischen Belastung im Meßobjekt WG 4 ohne Sonneneinstrahlung
Basis: (a) Extremwerte in den einzelnen Monaten während der Meßkampagnen (links)
(b) Simulation mit langjährigen Leipziger Klimadaten (rechts)

Für die Belange dieser Untersuchungen sind insbesondere die positiven PMV-Werte von Interesse. Die mit den Tagesmittelwerten simulierten Verhältnisse erbrachten zufriedenstellende thermische Bedingungen im Wohnobjekt 4: Bewertungen leicht kühl bis leicht warm (Abb. 7b). Werden die bei den Meßkampagnen 1 - 9 für die Monate Februar, Mai, August und November vorgefundenen Extremwerte zugrunde gelegt, so reicht die Bewertung von kühl bis warm (Abb. 7a). Insbesondere weist der Monat August die höchste thermische Belastung auf. Es wird eingeschätzt, daß im allgemeinen die negativen PMV-Werte keine so große Bedeutung haben, da der Mensch über Möglichkeiten der Anpassung (Bekleidung) verfügt.

LITERATUR

- Naegler, W., 1936: Statistik der Temperaturverhältnisse von Leipzig (1831-1935). Ber. Math.-phys. Klasse Sächs. Akad. Wiss. LXXXVIII. Band, Leipzig.
- VDI-Richtlinie 3787, Blatt 2, 1998: Umweltmeteorologie. Methoden zur human-biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für die Stadt- und Regionalplanung. Teil I: Klima. Beuth-Verlag, Berlin.
- Matzarakis, A., Mayer, H., 1996: Another kind of environmental stress: thermal stress. WHO Newsletter No. 18, 7-10.

DRESSMAN (DUMMY REPRESENTING SUIT FOR SIMULATION OF HUMAN HEATLOSS), DER NEUE KLIMAANZUG

Erhard Mayer
Fraunhofer-Institut für Bauphysik, D-83601 Holzkirchen, Postfach 11 52

1. DEFINITION UND MESSUNG DER „RESULTANT SURFACE TEMPERATURE“

Die Resultant Surface Temperature (RST) ist die Temperatur, die sich auf der Oberfläche einer mit konstanter elektrischer Leistung beheizten ca. 1 cm² großen Scheibe einstellt. Das im Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) entwickelte RST-Meter simuliert die menschliche Haut hinsichtlich des trockenen Wärmeaustauschs mit der Umgebung („künstliche Haut“). Im IBP durchgeführte Untersuchungen zeigen eine gute Korrelation der Klimasummengröße RST mit der subjektiv empfundenen thermischen Behaglichkeit.

2. WEITERENTWICKLUNG DES RST-METERS ZUM DRESSMAN

Eine Weiterentwicklung zu einem Meßsystem, mit dem der Wärmeaustausch eines gesamten menschlichen Körpers möglich ist, stellt ein Overall dar, auf dem bis zu 32 „künstliche Häute“ an beliebiger Stelle mit Klettverschluß angebracht werden können. Weitere Eigenschaften und Vorteile dieses DRESSMAN (Dummy REpresenting Suit for Simulation of huMAN heatloss) sind:

- Overall kann von Meßpuppen oder Personen (z.B. Fahrer, Pilot) getragen werden
- Overall ist in beliebigen Konfektionsgrößen erhältlich
- drahtlose Datenübertragung von den Sensoren zur Elektronik
- DRESSMAN verbindet die Vorteile einer beheizten Klimapuppe und einzelner Meßfühler (kurze Ansprechzeit).

VALIDIERUNG DES ÖSTERREICHISCHEN VORHERSAGEMODELLS FÜR DIE BIOLOGISCH-EFFEKTIVE UV STRAHLUNG (UV INDEX)

G. Schaubberger und A. Schmalwieser

Institute für Medizinische Physik und Biostatistik, Veterinärmedizinische Universität Wien,
Veterinärplatz 1, A 1210 Wien (med.physik@vu-wien.ac.at)

ZUSAMMENFASSUNG

Seit Oktober 1995 wird in Österreich täglich eine Prognose des UV-Index für die drei Modelldomänen: Österreich, Europa und weltweit, geltend für den darauf folgenden Tag, erstellt. Das österreichische Prognosemodell liefert für 16 diskrete Wellenlängen zwischen 297,5 und 380 nm die spektrale Bestrahlungsstärke. Das Modell berücksichtigt, die Sonnenhöhe, die Seehöhe sowie den Ozongehalt der Atmosphäre. Die spektrale Bestrahlungsstärke wird mit der spektralen Wirkungsfunktion des Erythems gewichtet, um die biologisch-effektive UV-Strahlung zu erhalten. Durch eine Normierung mit $25\text{mW}_{\text{biol}}/\text{m}^2$ erhält man die Maßzahl für den UV-Index. Die Validierung erfolgte mit Meßwerten, die mit Robertson-Berger Meßgeräten kontinuierlich erfaßt wurden (Standort der Veterinärmedizinischen Universität Wien: $48^\circ 15,47' \text{N}$; $16^\circ 25,98' \text{E}$; Seehöhe: 153 m). Die spektrale Empfindlichkeit dieser Geräte entspricht etwa der menschlichen Haut für die akute Wirkung des Erythems. Durch Verknüpfung des UV-Index mit der täglich zu erwartenden UV-Dosis wird eine Empfehlung für den jeweils zu wählenden Faktor eines Sonnenschutzmittels, aufgeschlüsselt nach den photobiologischen Haupttypen, gegeben. Die Eigeninitiative des Benutzers des UV-Index wird gefordert, indem er die jeweilige Bewölkungssituation abschätzen muß, um den für vor Ort geltenden UV-Index auszuwählen. Im Sinne des UV-Strahlenschutzes ist das Modell dann als mangelhaft zu bewerten, wenn der gemessene UV-Index größer ist als der prognostizierte, das tritt in etwa 12 % aller Fälle auf. Die Fehlerhäufigkeiten für positive Modellfehler (prognostizierte Werte sind größer als Meßwerte) sind, auf die vom Modell derzeit nicht berücksichtigte Extinktion der UV-Strahlung durch die Bewölkung zurückzuführen.

1 EINLEITUNG

Solare UV-Strahlung ist die primäre Ursache für die UV-Exposition. Für die österreichische Bevölkerung konnte Keck et al. (1992) zeigen, daß etwa 50% durch berufliche Aktivitäten im Freien bedingt sind, 36% durch Freizeitaktivitäten und etwa 13% durch den Urlaub.

Der UV-Index ist eine Maßzahl für die biologisch-effektive Bestrahlungsstärke der solaren UV-Strahlung. Die Prognose des UV-Index ermöglicht die Bevölkerung über die zu erwartende UV-Intensität während des Aufenthalts im Freien zu informieren und dadurch das persönliche Verhalten darauf abzustimmen. Die Aufklärung und Information der Bevölkerung über diesen Umweltfaktor kann durch die dadurch mögliche individuelle Reduktion der UV-Exposition als Beitrag für die Gesundheitsvorsorge gesehen werden. Durch die Verknüpfung des UV-Index mit der täglich zu erwartenden UV-Dosis besteht die Möglichkeit, eine Empfehlung für eine sinnvolle Wahl des Lichtschutzfaktors eines Sonnenschutzmittels in Abhängigkeit des Hauttyps abzugeben (Schaubberger et al. 1997; Schmalwieser und Schaubberger 1999).

2 MATERIAL UND METHODE

Das österreichische Modell liefert für 16 Stützstellen zwischen (297 und 380 nm) die spektrale Bestrahlungsstärke in Abhängigkeit des Ozongehalts der Atmosphäre, der Sonnenhöhe sowie der Seehöhe (Schaubberger et al. 1997; Schmalwieser und Schaubberger 1999). Die spektrale Bestrahlungsstärke wird mit der spektralen Wirkungsfunktion des Erythems (CIE, 1987) gewichtet, um die biologisch-effektive UV-Strahlung zu erhalten.

Während sich die Sonnenhöhe aus der Tages- bzw der Jahreszeit und den geographischen Koordinaten ergibt sowie die Seehöhe in Abhängigkeit des Ortes vorliegt, ist der Ozongehalt, als dritter Eingangsparameter, variabel. Deshalb ist einerseits die Messung des Ozongehalts und andererseits Prognosemodelle von großer Bedeutung. Derzeit stehen ausschließlich Ozonwerte zur Verfügung, die aus TOVS-Messungen (TIROS Operational Vertical Sounder) des NOAA-14 SBUV/2 Satelliten abgeleitet werden. Die Auflösung beträgt 1° jeweils für die geographische Breite und Länge (188 x 360 Gitterpunkte). Der Zeitverlauf über die beiden letzten Jahre zeigt Abb. 1.

Zur Evaluierung des Prognosemodells wird die biologisch-effektive solare UV-Strahlung kontinuierlich gemessen. Die Meßstation ist in das österreichische UVB-Monitoring Netz eingebunden. (Silbernagl et al., 1998).

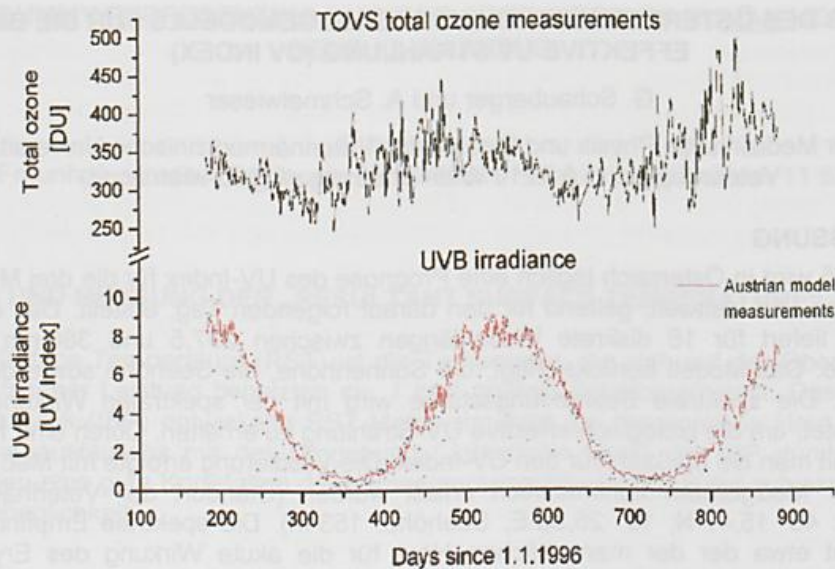


Abb. 1: Gesamtzongehalt in Dobson Units (DU) über Wien gemessen durch den NOAA-14 SBUV/2 Satelliten (TOVS) (obere Graphik), gemessene biologisch-effektive Bestrahlungsstärke (als UV-Index) mittags (Punkte) und Modellrechnung (Linie) für Wien zwischen Juli 1996 und Juli 1998.

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Derzeit erfolgt eine 24stündige Prognose des UV-Index, so daß die Vorhersage für den nächsten Tag zur Verfügung steht. Die Prognosedaten für Österreich werden über den Teletext des ORF sowie über den WWW-Server des Instituts für Medizinische Physik und Biostatistik der Veterinärmedizinischen Universität Wien (<http://www-med-physik.vu-wien.ac.at>) angeboten. Das Ergebnisse der UV-Prognose sind die Werte des UV-Index für ausgewählte Orte sowie Felder auf der österreichischen Skala (10 km Gitterdistanz), der Europaskala (100 km) und der globalen Skala (500 km).

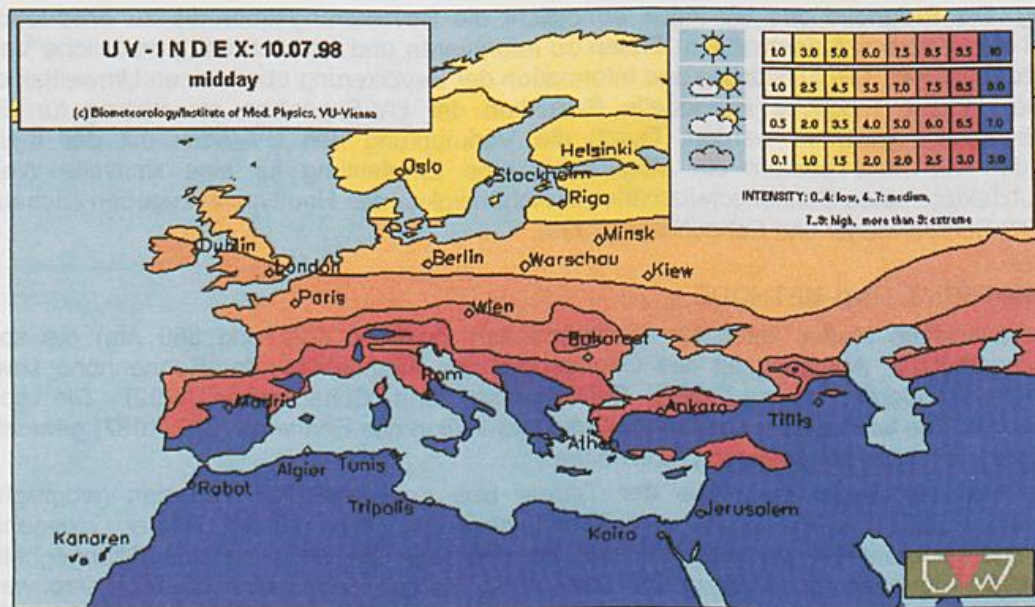


Abb. 2: Beispiel der Verteilung des UV-Index über Europa aufgrund des Prognosemodells für 10. Juli 1998

Allgemein gilt ein Modell als gut justiert, wenn die Modellfehler symmetrisch verteilt sind, und zudem die größten Häufigkeiten für die Klasse mit den kleinsten Fehlern ermittelt wird. Im Fall des hier

vorgestellten UV-Index gilt das nicht, da er für wolkenlosen Himmel gerechnet wurde. Der UV-Index gibt demnach die maximal mögliche UV-Strahlung an der Erdoberfläche an. Dadurch sollte die Prognose des UV-Index eine einhüllende Kurve für die Meßwerte des UV-Index darstellen (Schauberger et al., 1997)

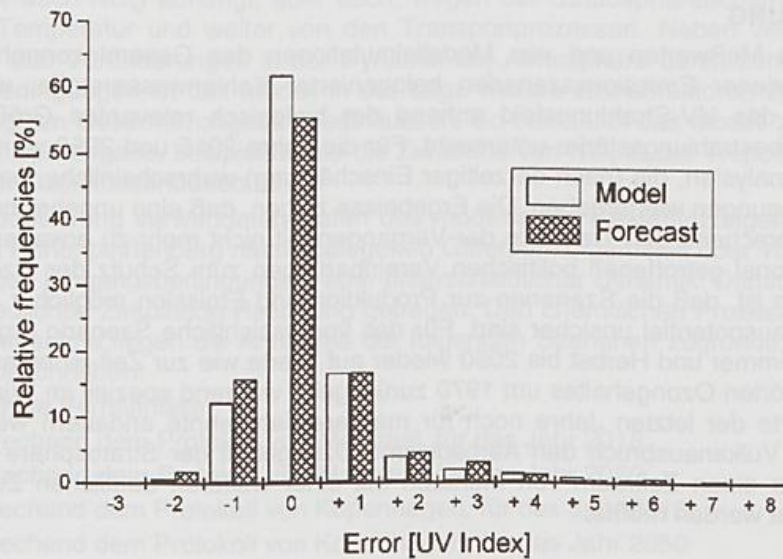


Abb. 3: Relative Häufigkeitsverteilung des Modellfehlers (leere Säulen) und des Prognosefehlers (Summe des Modellfehlers und der Fehlers der Prognose für den Gesamt ozonegehalt) (volle Säulen) für die Meßstation in Wien.

Das Modell ist also genau dann als mangelhaft zu bewerten, wenn der beobachtete UV-Index größer ist als der diagnostizierte. Abbildung 3 zeigt, daß das Fall in etwa 12 % aller Fälle eintritt. Die Fehlerhäufigkeiten für positive UV-Index-Differenzen sind wie schon erwähnt auf die vom Modell derzeit nicht berücksichtigte Bewölkung zurückzuführen. Schon ein einfacher Ansatz für die Abschwächung der UV-Strahlung durch die Bewölkung würde eine wesentliche Verbesserung des in Abb. 3 dargestellten Modellfehlers bewirken. Umgekehrt würde eine Abkehr von einem für wolkenlosen Himmel berechneten UV-Index die Prognose desselben ungleich stärker an die Genauigkeit der zur Verfügungsstehenden Prognosen koppeln. In Abb. 3 ist neben dem Modellfehler selbst auch der gesamte Prognosefehler dargestellt (Modellfehler und Prognosefehler für den Gesamt ozonegehalt).

LITERATUR

- Koepke P., Bais A., Balis D., Buchwitz M., De Backer H., De Cabo X., Eckert P., Eriksen P., Gillotay D., Koskela T., Lapeta B., Litynska Z., Lorente J., Mayer B., Renaud A., Ruggaber A., Schauburger G., Seckmeyer G., Seifert P., Schmalwieser A., Schwander H., Vanicek K., Weber M.: Comparison of models used for UV index calculations. *Photochem Photobiol* 67 (1998) 6: 657-662.
- Schauberger G., Schmalwieser A.W., Rubel F., Wang Y., Keck G.: UV-Index: Operationelle Prognose der solaren, biologisch-effektiven Ultraviolett-Strahlung in Österreich. *Zeitschrift für Medizinische Physik* 7(1997):153-160.
- CIE (1987): A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. CIE Research Note. CIE Journal 6, 17-22. [4]
- Keck, G., A. Cabaj and G. Schauburger, UV-Exposition der österreichischen Bevölkerung durch solare Strahlung in Beruf, Freizeit und Urlaub sowie durch die Nutzung von Solarien, Beiträge 1/92-Lebensmittelangelegenheiten, Veterinärverwaltung, Strahlenschutz. Hrsg.: Bundesministerium für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz, Wien, 1992
- Schmalwieser A.W., Schauburger G.: Validation of the Austrian forecast model for solar, biologically-effective ultraviolet radiation - UV index for Vienna, Austria. *Journal of Geophysical Research*, submitted, 1999
- Silbernagl R., M. Blumthaler: First experiences with the Austrian UV-monitoring network, Presentation at the Meeting of Experts on UV radiation, Helsinki, June 29-July 2, 1998

SZENARIEN ZUKÜNFTIGER UV-STRALUNG

J. Reuder¹, P. Koepke¹, M. Dameris²

¹ Meteorologisches Institut der Ludwig-Maximilians-Universität, Theresienstraße 33, 80333 München

² Institut für Physik der Atmosphäre, DLR, Oberpfaffenhofen

ZUSAMMENFASSUNG

Auf der Basis von Meßwerten und von Modellsimulationen des Gesamt ozonegehaltes, unter der Annahme verschiedener Emissionsszenarien halogener Kohlenwasserstoffe, wurden mögliche Auswirkungen auf das UV-Strahlungsfeld anhand der biologisch relevanten Größe der erythemgewichteten Globalbestrahlungsstärke untersucht. Für die Jahre 2015 und 2050 wurden dazu jeweils 3 Ozonszenarien analysiert, die (nach derzeitiger Einschätzung) wahrscheinliche, pessimistische und optimistische Bedingungen wiedergeben. Die Ergebnisse zeigen, daß eine ungebremszte Zunahme der UV-Strahlung entsprechend den Trends in der Vergangenheit nicht mehr zu erwarten ist. Dies ist ein Erfolg der international getroffenen politischen Vereinbarungen zum Schutz der Ozonschicht, wobei jedoch zu beachten ist, daß die Szenarien zur Produktion und Emission möglicher Stoffe mit Ozonabbau- und Treibhauspotential unsicher sind. Für das voraussichtliche Szenario ergibt sich, daß die UV-Strahlung in Sommer und Herbst bis 2050 wieder auf Werte wie zur Zeit eines anthropogen noch weitgehend ungestörten Ozongehaltes um 1970 zurückgeht, während speziell im Winter und Frühling die hohen UV-Werte der letzten Jahre noch für mehrere Jahrzehnte andauern werden. Zusätzlich kann ein eruptiver Vulkanausbruch den Aerosol- und Ozongehalt der Stratosphäre drastisch verändern, wodurch über einen Zeitraum von Monaten mit einer weiteren deutlichen Zunahme der UV-Strahlung gerechnet werden müßte.

1. EINLEITUNG

UV-Strahlung induziert eine Reihe wichtiger Photoreaktionen, sowohl biologischer als auch chemischer Natur. UV-Strahlung kann in lebenden Organismen Moleküle zerstören und so zu Zellveränderungen bei Menschen, Tieren und Pflanzen führen, aber auch Schutz und Adaptationsmechanismen gegenüber UV-Strahlung auslösen. Für die Luftchemie ist UV-Strahlung wichtig, da sie die Entstehung von Hydroxyl-Radikalen beeinflusst, die den Antrieb für die gesamte Atmosphärenchemie bilden. Für alle diese Wirkungen ist der kurzwellige, durch das Ozon beeinflusste, Spektralbereich von besonderer Bedeutung, da hier energiereiche Photonen in genügender Menge vorhanden sind. Die Untersuchung zukünftiger UV-Verhältnisse, mit möglicherweise geänderten Ozongehalt, ist deshalb von großer Bedeutung. Sie erfolgt durch die Modellierung des Strahlungstransports in der Atmosphäre, unter der Annahme von in Zukunft zu erwartenden Werten der relevanten Atmosphärenkomponenten.

2. METHODIK

Die Berechnung der spektralen UV-Strahlung erfolgte mit dem Strahlungstransfermodell STAR (Rugaber et al., 1994). Es basiert auf einem eindimensionalen vertikal und spektral hochaufgelösten Strahlungsübertragungsalgorithmus, der Absorption und Streuung (auch Mehrfachstreuung) durch beliebige Atmosphärenbestandteile berücksichtigt. Diese Bestandteile, z. B. das Aerosol (Menge, Streu- und Absorptionseigenschaften), die Luftmoleküle oder das Ozon können dem Modell als Vertikalprofile beliebig vorgegeben werden. Die Absorptionseigenschaften von Ozon und anderen Spurengasen werden temperatur- und druckabhängig berücksichtigt. Die mathematische Prozedur zur Beschreibung der Streu- und Absorptionsprozesse ist so gut, daß hieraus nur geringe Fehler resultieren (außer bei extrem kurzen Wellenlängen und sehr niedrigen Sonnenhöhen, bei denen die Strahlung sehr gering ist). Die Qualität der modellierten Strahlungsgrößen wird deshalb durch die Güte der Eingangsparameter bestimmt (Schwander et al., 1997). Bei Kenntnis der Atmosphärenparameter in der Zukunft, in belastbaren Szenarien, kann die UV-Strahlung somit prognostiziert werden.

Die Untersuchungen beschränken sich auf wolkenfreie Bedingungen, da die Strahlungseigenschaften von Wolken in der Zukunft nicht ausreichend gut vorhergesagt werden können. Die Untersuchung zukünftiger Verhältnisse ist trotzdem sinnvoll, da potentielle Änderungen der hohen UV-Strahlungswerte bei wolkenlosem Himmel in vielen Anwendungsaspekten dominieren und eine adäquate Größe zur Beschreibung der ozonbedingten Strahlungsänderung darstellen. Des weiteren beschränken sich die Untersuchungen auf Mitteleuropa, da nur für diesen Bereich eine Absicherung der modellierten Ozonwerte, an Hand der Messungen vom Hohenpeißenberg (MOHp), erfolgte.

Für wolkenlose Bedingungen ist der Gesamt ozonegehalt die wichtigste atmosphärische Einflußgröße auf die biologisch und photochemisch bedeutsame UV-B Strahlung. Er wird angegeben in Dobson Units (DU). Zur Beschreibung der Vergangenheit (mittlere Bedingungen der Jahre 1967-72) und der

Gegenwart (Mittel 1987 bis 1997) werden Ozon-Messungen vom Hohenpeißenberg herangezogen (DWD, 1998). Zur Beschreibung zukünftiger Ozonbedingungen werden Resultate von Simulationen mit einem globalen Zirkulationsmodell verwendet, an das ein Chemiemodul angekoppelt ist (ECHAM3/CHEM, Dameris et al., 1998). Diese aufwendige Modellierung ist notwendig, da der in Zukunft zu erwartende Gesamtzongehalt sowohl von der globalen Emission von Schadgasen (vor allem FCKW, aber auch NO_x) abhängt, aber auch, wegen der Stratosphärenchemie, von möglichen Änderungen der Temperatur und weiter von den Transportprozessen. Neben veränderten Temperaturverhältnissen und Veränderungen in der Dynamik der Atmosphäre durch zunehmendes CO_2 in zukünftige Klimabedingungen ist das Modell in der Lage weitere Einflußfaktoren zu berücksichtigen, die den ortsabhängigen Gesamtzongehalt beeinflussen. So beinhaltet das Modell zeitliche Änderung anderer relevanter Spurengase, beispielsweise die Zunahme von NO_x in der Troposphäre, die dort zu einer Erhöhung der Ozonkonzentration führt.

Die für die UV-Modellierung verwendeten Daten des modellierten Gesamtzongehaltes sind Tagesmittel für den dem Hohenpeißenberg nächstgelegenen Gitterpunkt, gemittelt über 10 Jahre mit jeweils gleichen chemischen Eingangsbedingungen, aber unterschiedlicher Dynamik. Damit wird der von Jahr zu Jahr unterschiedlichen Zirkulation Rechnung getragen. Den chemischen Prozessen der jeweils 10 unabhängigen Jahresläufe liegen die Annahme der folgenden Szenarien zugrunde, die die Emission von Schadgasen beschreiben:

- 1992: derzeitige Verhältnisse
- M15: entsprechend dem Protokoll von Montreal, für das Jahr 2015
- M50: entsprechend dem Protokoll von Montreal, für das Jahr 2050
- C15: entsprechend dem Protokoll von Kopenhagen, für das Jahr 2015
- C50: entsprechend dem Protokoll von Kopenhagen, für das Jahr 2050

Unter der Annahme, daß sich alle Unterzeichnerstaaten an die strengen Abmachungen halten, stellt das Protokoll von Kopenhagen ein günstiges denkbare Szenario bezüglich der ozonzerstörenden Substanzen dar. Die Realisierung muß jedoch als unwahrscheinlich eingeschätzt werden, da die Vereinbarung von verschiedenen Ländern nicht ratifiziert ist und nicht klar ist, wieviel dieser Gase in Zukunft noch aus Beständen freigesetzt werden (z.B. aus Feuerlöschern und Klimaanlage). Das Protokoll von Montreal dagegen stellt eine pessimistische Obergrenze der zu erwartenden zukünftigen Emission von Schadgasen dar. Da bevölkerungsreiche Schwellenländer wie Indien und China voraussichtlich verstärkt in die FCKW-Produktion einsteigen und weiter weltweit FCKW-Ersatzverbindungen produziert werden, ist anzunehmen, daß die reale Entwicklung in der Zukunft, je nach politischem Handeln, zwischen diesen beiden Szenarien liegen wird.

Über einen Vergleich der Simulation für 1992 mit den Messungen vom MOHp aus dem Zeitraum 1987-97 wurden in einem ersten Schritt die Ergebnisse der Szenarien M15, M50, C15 und C50 auf mittlere tägliche Werte für Bayern kalibriert. Aus diesen kalibrierten Daten wurden dann 3 Ozonszenarien entwickelt, die der bereits skizzierten Unsicherheit in der realen Entwicklung der zukünftigen Gesamtzonzonverhältnisse Rechnung tragen. Die nach unserer Einschätzung wahrscheinliche Entwicklung des Gesamtzons wird durch ein Szenario beschrieben, in dem 70% der Vereinbarungen des Kopenhagener Protokolls zur Reduktion ozonabbauender Substanzen verwirklicht werden, während 30% entsprechend dem Montrealer Protokoll emittieren. Es wird darüber hinaus angenommen, daß sich der troposphärische Ozongehalt gegenüber den Verhältnissen von 1992 nicht ändert. Dieses Szenario wird im weiteren als "voraussichtlich" bezeichnet. Als "pessimistisches" Szenario werden Gesamtzonzonwerte angesehen, die aus den Berechnungen auf der Basis des Montrealer Protokolls resultieren. Auch hier wird angenommen, daß das troposphärische Ozon gegenüber 1992 unverändert bleibt. Das mit "optimistisch" bezeichnete Szenario folgt den Resultaten, die bei einer strikten Einhaltung des Kopenhagener Protokolls zu erwarten wären. Darin ist auch eine Erhöhung des troposphärischen Ozongehaltes enthalten, die durch eine erwartete Zunahme der Stickoxide hervorgerufen wird.

Die resultierenden Jahresgänge der zukünftigen Ozonszenarien sowie die mittleren Jahresgänge aus Messungen sind in Abbildung 1 dargestellt. Es zeigt sich, daß das Gesamtzozon über dem Hohenpeißenberg in den letzten 30 Jahren deutlich abgenommen hat. Die maximalen Effekte treten dabei im Spätwinter mit etwas mehr als 15% auf. Im Sommer und Herbst liegt die Abnahme im Bereich von etwa 5%. Nach den Resultaten der ECHAM/CHEM-Simulationen wird sich der Trend aus den letzten 30 Jahren für Bayern jedoch nicht im gleichen Maß fortsetzen. Das Szenario "voraussichtlich 2015" zeigt für Winter und Frühjahr zwar noch eine weitere Abnahme des Gesamtzozons in der Größenordnung von 5%. Im Jahr 2050 werden aber wieder Verhältnisse erwartet, die den heutigen entsprechen.

Für Sommer und Herbst prognostizieren diese Szenarien sogar eine Zunahme des Gesamtzozons. Hier wird die nach wie vor zu beobachtende Abnahme im stratosphärischen Ozon durch eine

Zunahme des troposphärischen Ozons aufgrund erhöhter NO_x -Emissionen überkompensiert. Die "optimistischen" Szenarien sagen eine Erholung der Ozonschicht vorher, die verglichen mit derzeitigen Verhältnissen für 2015 etwa 5% und für 2050 knapp 10% beträgt. Die "pessimistischen" Szenarien ergeben eine weitere Reduktion im Gesamt Ozon, die im Winter und Frühjahr bei knapp 10% liegt und im Sommer und Herbst wiederum aufgrund der Zunahme des troposphärischen Ozons gegen 0 geht. Die unterste Kurve in Abbildung 1 beschreibt die Gesamt Ozonverhältnisse während einer typischen Ozon-Minihole-Episode unter derzeitigen Bedingungen (James, 1998). Sie zeigt, daß bereits heute über mehrere Tage Ozonbedingungen auftreten können, die deutlich unter den zu erwartenden mittleren Verhältnissen der Zukunft liegen. Jedoch ist zu berücksichtigen, daß es auch in Zukunft Miniholes geben wird, da diese in erster Linie durch Transportvorgänge verursacht werden, und daß die Ozonwerte bei zukünftigen Minihole-Episoden entsprechend der mittleren Ozonentwicklung verändert sein können und, bedingt durch deren chemische Ursachen, voraussichtlich auch sein werden.

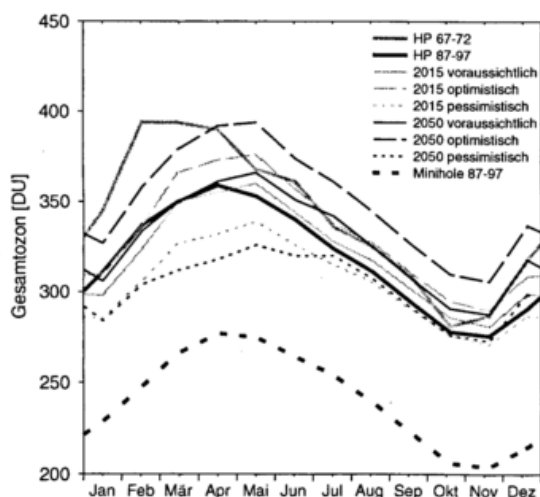


Abbildung 1: Jahresgang des Gesamt Ozongehaltes in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Die Meßwerte stammen vom Meteorologischen Observatorium Hoher Peißenberg des Deutschen Wetterdienstes, die zukünftigen Szenarien wurden aus Modellsimulationen abgeleitet (Dameris et al., 1998). Die tiefste Kurve, abgeleitet aus einer statistisch-klimatologischen Bearbeitung von Satellitendaten (James, 1998), beschreibt den mittleren derzeitigen Gesamt Ozongehalt während einer Ozon-Minihole-Episode.

Weitere Ozonreduktionen könnten durch einen eruptiven Vulkanausbruch mit einem deutlichen Eintrag von Gasen und Partikeln in die Stratosphäre verursacht werden. Meßreihen zeigen, daß solche Ereignisse (Pinatubo, El Cichon) den Gesamt Ozongehalt der Atmosphäre merklich verringern können, im Jahresmittel um etwa 10 bis 20 DU (Wege und Claude, 1997). In einzelnen Monaten liegen die Mittelwerte sogar bis zu 50 DU unter den vulkanisch ungestörten Zeiträumen. Dadurch würden über einige Wochen hinweg Bedingungen geschaffen, die einer mittleren Minihole-Episode entsprechen. In den gezeigten Szenarien sind diese möglichen Auswirkungen eines Vulkanausbruchs jedoch nicht enthalten.

4. ERGEBNISSE

Um die Entwicklung der UV-Strahlung in Bayern in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft darzustellen, wurde auf der Basis der in Abbildung 1 dargestellten Jahresgänge von Ozon Jahresgänge der UV-Strahlung für wolkenfreie Bedingungen modelliert. Die Punkte in den Abbildungen 2 und 3, die den jeweiligen Monat repräsentieren, beziehen sich auf den Sonnenhöchststand zum 15. des Monats auf 49° Nord und $11,5^\circ$ Ost. Für die Wintermonate (Dezember bis Februar) wurde die Oberfläche schneebedeckt, für die anderen Monate mit Vegetation bewachsen angenommen. Die Aerosolpartikel wurden mit mittleren Verhältnissen berücksichtigt, aber mit einem beobachteten Jahresgang ihrer optischen Dicke. Sowohl die Albedo- als auch die Aerosolverhältnisse wurden in allen gerechneten Szenarien, das heißt auch in der Zukunft, konstant gehalten.

Die Resultate für die erythemgewichtete Globalstrahlung G_{ery} sind in Abbildung 2 gezeigt. Die Werte bewegen sich im Winter um $0,025 \text{ W/m}^2$, nur für das Minihole-Szenario liegen sie bei etwa $0,03 \text{ W/m}^2$. Im Sommer erreicht G_{ery} mit rund $0,17 \text{ W/m}^2$ bzw. $0,24 \text{ W/m}^2$ für ein Ozonmini-hole etwa das 7- bis 8-fache der Winterwerte. Um die voraussichtliche Entwicklung der UV-Strahlung zu dokumentieren, wird die prozentuale Änderungen der Strahlung im Vergleich zur derzeitigen Situation, das heißt im Bezug auf die mittlere Strahlung der Jahre 1987-97, betrachtet (Abbildung 2 rechts). Zu Zeiten mit noch kaum gestörter Ozonchemie (1967-72) lag die Strahlung zwischen 15 % im Frühjahr und 5% im Sommer niedriger als heute. Dies repräsentiert den deutlichen Anstieg der UV-Strahlung in den vergangenen 30 Jahren. Für die Zukunft ergibt sich nur noch mit einer geringfügigen Zunahme. Nur die pessimistischen Szenarien für die Jahre 2015 und 2050 prognostizieren noch einen weiteren Anstieg der UV-Strahlung über das ganze Jahr. Im Spätwinter und Frühjahr ist er mit etwa 10% deutlich, im

Sommer und Herbst mit etwa 3% nur noch schwach ausgeprägt. Die aus unserer Sicht wahrscheinlichen Szenarien ("voraussichtlich") ergeben für Sommer und Herbst bereits eine Abnahme der UV-Belastung in einer Größenordnung von etwa 2% für 2015 bzw. 5% für 2050. Sie liegen damit in diesem Teil des Jahres nahe an (2015) bzw. sogar auf (2050) den Werten, die aus Simulationen der anthropogen weitgehend unbelasteten Atmosphäre (1967-72) resultieren. Für das Jahr 2015, in etwa der Termin für den Höhepunkt des stratosphärischen Ozonabbaus, muß dagegen im Winter und Frühjahr noch mit einer weiteren Erhöhung der UV-Belastung in einer Größenordnung von 5% gegenüber den derzeitigen Verhältnissen gerechnet werden. Im Winter und Frühling ist selbst bei der prognostizierten weitgehenden Abnahme der ozonzerstörenden Substanzen im Jahre 2050 die UV-Strahlung noch etwas höher als zu Zeiten der anthropogen kaum belasteten Atmosphäre um 1970. Ursache hierfür sind in erster Linie Veränderungen in der Ozonchemie aufgrund der durch die CO₂-Zunahme reduzierten Stratosphärentemperatur.

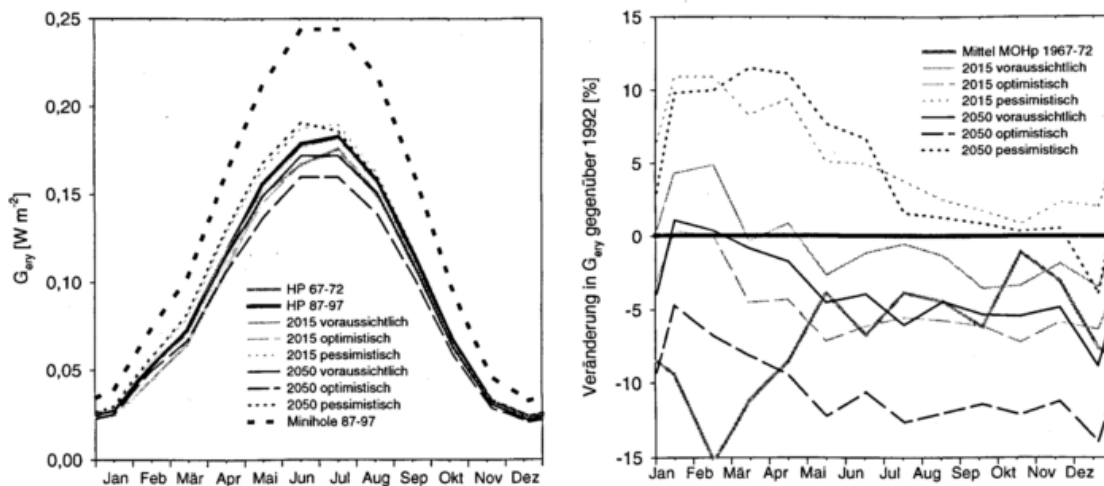


Abbildung 2: Jahresgang der erythemgewichteten Globalstrahlung G_{ery} unter wolkenlosen Bedingungen für Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft (links), sowie die prozentuale Veränderung der verschiedenen UV-Szenarien bezogen auf gegenwärtige Verhältnisse (Mittel 1987-97) (rechts). Die Modellrechnungen beziehen sich auf Sonnehöchststand am 15. des jeweiligen Monats für 49°N und 11,5° O für die Erdoberfläche in 500 m über NN.

SCHLUSSFOLGERUNG

Eine Berücksichtigung der hohen Werte der UV-Strahlung durch entsprechende Vorsicht im Umgang mit der Sonne, speziell im Frühling in sonnenungewohntem Zustand, ist nach unseren Ergebnissen auch in künftigen Jahren noch sehr wichtig. Eine deutliche Verschlechterung der Situation ist aber nicht mehr sehr wahrscheinlich, vorausgesetzt die international beschlossenen Emissionseinschränkungen werden tatsächlich eingehalten.

Die Arbeit wurde im Rahmen des Bayerischen Klimaforschungsprogramms BayFORKLIM Projekt "U6" gefördert. Im Abschlußbericht des Vorhabens (Köpke u. Reuder, 1998) sind die Ergebnisse breiter dargestellt.

LITERATUR

- Dameris, M., V. Grewe, R. Hein, C. Schnadt, C. Brühl, and B. Steil, Assessment of the future development of the ozone layer, *Geophys. Res. Lett.* 25, 19, 3579-3582, 1998.
- DWD, Meteorologisches Observatorium Hoher Peißenberg, persönliche Mitteilung, 1998.
- James, P. M., An interhemispheric comparison of ozone mini-hole climatologies, *Geophys. Res. Lett.* 25, 3, 301-304, 1998.
- Ruggaber, A., R. Dlugi, and T. Nakajima, Modelling radiation quantities and photolysis frequencies in the troposphere., *J. Atmos. Chem.* 18, 171-210, 1994.
- Schwander, H., P. Koepke, and A. Ruggaber, Uncertainties in modeled UV-irradiances due to limited accuracy and availability of input data, *J. Geophys. Res.* 102, 8, 9419-9429, 1997.
- Wege, K. und H. Claude, Über Zusammenhänge zwischen stratosphärischem Ozon und meteorologischen Parametern mit Folgerungen für die Zeiträume nach den Ausbrüchen von Chichon und Pinatubo, *Meteorol. Z.*, 6, 73-87, 1997.

KLASSIFIKATION VON SFERICS FÜR BIOMETEOROLOGISCHE KORRELATIONSUNTERSUCHUNGEN

W. P. Oettinger, B. Eisert, A. Gerl, H.-D. Betz

Sektion Physik der Universität München, Am Coulombwall 1, 85748 Garching,
Tel. +49 89 289-14149, Email: Peter.Oettinger@Physik.Uni-Muenchen.de

Zusammenfassung

Seit über 10 Jahren untersuchen die Autoren die natürliche elektromagnetische Strahlung in der Atmosphäre im Frequenzbereich von ca. 1 bis 200 kHz (Sferics). An mehreren Meßstationen werden die Sferics-Ereignisse kontinuierlich gemessen und in Datenbanken archiviert. Neben der Erforschung der Signaleigenschaften sind die Datenbanken auch für verschiedene Anwendungen nutzbar, wie z. B. für effiziente Gewitter-Frühwarnung. In der hier dargestellten Arbeit wird aufgezeigt, wie die überaus komplexen Signalformen von Sferics auf ihre wesentlichen und charakteristischen Anteile reduziert werden können. Damit wird es möglich, künftige Korrelationsuntersuchungen, wie z. B. mögliche und vielfach behauptete Zusammenhänge zwischen Sferics und einer Reihe von biologischen Befindlichkeiten [König et al. 1960, Ruhenstroth-Bauer 1994 et al., Schienle et al. 1997], mit einem konzentrierten Satz von Daten durchzuführen, ohne daß hierbei relevante Information verloren geht.

1 Einleitung

Sferics sind natürliche elektromagnetische Impulse, die vorwiegend durch Blitze erzeugt werden und eine große Reichweite aufweisen. Ein Empfangssystem zur Aufzeichnung und Analyse dieser Signale wird seit mehreren Jahren von der Sferics-Gruppe an der Sektion Physik der Universität München [Betz et al. 1996a, Betz et al. 1996b] erfolgreich betrieben. Eine Besonderheit ist dabei, daß die von Gewittern ausgehenden Sfericssignale an den Meßstationen mit großer spektraler Breite erfaßt und ihrem zeitlichen Verlauf weitgehend unverzerrt gemessen und archiviert werden. Die Vielzahl der damit zur Verfügung stehenden Parameter der gemessenen Sfericssignale unterscheidet diese Anlage von allen anderen (Blitz-) Ortungssystemen. Somit ist das System prädestiniert, eine Datengrundlage für Untersuchungen hinsichtlich der biologischen (Fern-) Wirksamkeit gewittriger Wettervorgänge zu liefern.

2 Methodik

Aus der großen Anzahl definierbarer Sferics-Parameter wurden unter Verwendung des Verfahrens der Faktorenanalyse wenige, kennzeichnende Faktoren extrahiert und interpretiert. Die Faktorenanalyse ist eine etablierte mathematische Methode, mit dem Ziel eine Vielzahl von beobachteten Merkmalen (Parametern) auf möglichst wenige dominante latente Größen (Faktoren) zu reduzieren. Als Ausgangsbasis dienten verschiedene Sferics-Signalparameter (zur Erläuterung siehe Tabelle 1 und Bild 1). Für die Analyse wurde der Gesamtdatensatz der Stationen Garching und Landshut des Jahres 1998 (ca. 1,8 Mio. Ereignisse) herangezogen. Somit geben die verwendeten Daten einen guten Überblick über die Sferics-Situation im östlichen Süddeutschland. Weiter entfernte Entladungen werden zwar ebenfalls erfaßt, allerdings in geringerer Anzahl. Ein genaues Bild der natürlichen elektromagnetischen Strahlung wird mit den hier verwendeten Daten in einem Umkreis von einigen hundert Kilometern erhalten.

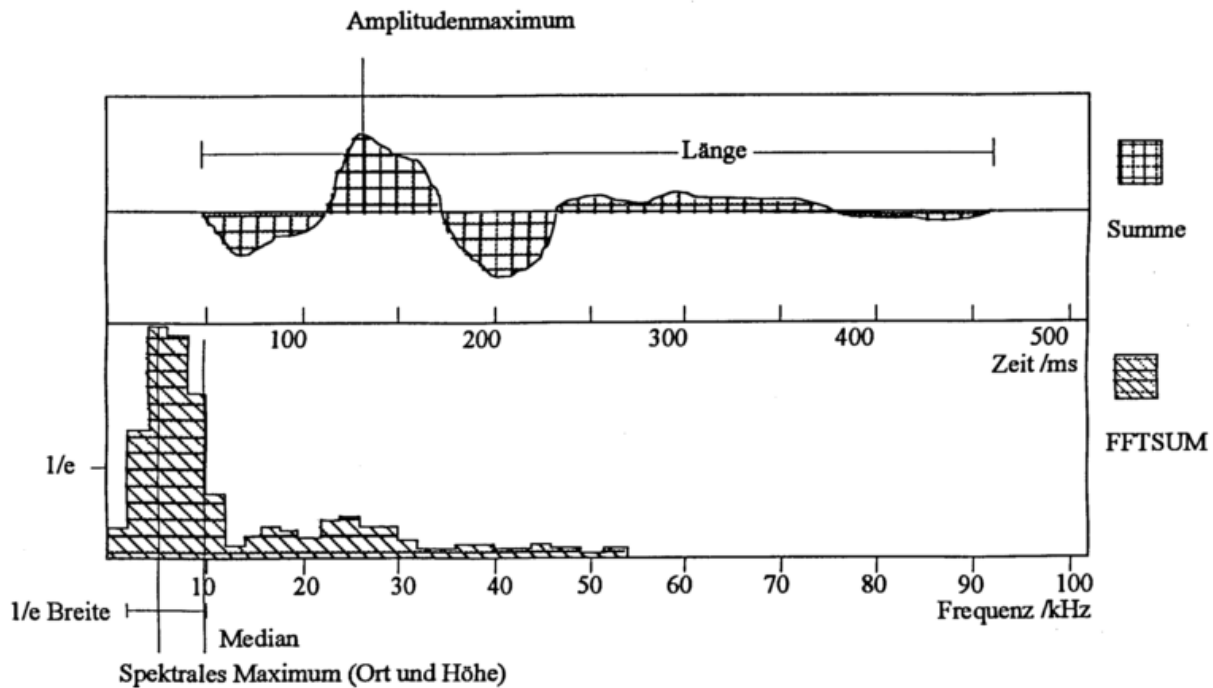


Bild 1: Erläuterung einiger der in der Faktorenanalyse verwendeten Parameter am Beispiel eines Sferics-Signals und des dazugehörigen normierten Frequenzspektrums.

3 Ergebnisse

Die Zusammensetzung der gewonnenen Faktoren erschließt einerseits Zusammenhänge zwischen einzelnen Sferics-Parametern, andererseits können für den Fall hoher Korrelationen zwischen den erhaltenen Faktoren und psychologischen, physiologischen oder biometeorologischen Parametern Aussagen über die jeweils wirksamen Signaleigenschaften getroffen werden. Die Ladungsverteilung der Faktoren (siehe Tabelle 1) läßt sich wie folgt interpretieren:

Der erste Faktor ist ein Maß für die Signalstärke und die gesamte Energie des Signales.

Der zweite Faktor ist ein Maß für die spektrale Verteilung, unter besonderer Berücksichtigung der tieferen Frequenzanteile.

Der dritte Faktor läßt sich ebenfalls als spektraler Faktor interpretieren, jedoch unter stärkerer Berücksichtigung der höheren Frequenzanteile.

Der vierte Faktor beschreibt einen Zusammenhang zwischen der Länge des Sfericssignales und der Breite der spektralen Verteilung.

Der fünfte Faktor ist ein Restfaktor, auf den Zeit und Entfernung laden.

Aufgrund der höheren Relevanz und der Informationsdichte sind vor allem die Faktoren eins bis vier für Korrelationsuntersuchungen geeignet und zu empfehlen.

Neben der direkten Interpretation der Sferics-Faktoren anhand der Ladungsanteile wurden Korrelationsuntersuchungen mit zusätzlichen externen Variablen durchgeführt. Spezielles Ziel waren mögliche Zusammenhänge mit der Wetterlage. Hierzu fanden Bewertungen der Wetterlage innerhalb 6-Stundenintervallen mittels einer Einteilung in sechs verschiedene Wetterklassen statt. Die Klassifizierung der meteorologischen Vorgänge basierte auf den bei biometeorologischen Untersuchungen üblicherweise verwendeten Verfahren [Bucher 1993]. Für die Sfericssignale in jeder der sechs Wetterklassen wurde eine Faktorenanalyse ausgeführt. Diese zusätzlichen Analysen trugen dazu bei, die beobachteten Unterschiede von Sferics-Signalformen besser einzuordnen.

Komponente	1	2	3	4	5	Erläuterung
FFTSUM	,968	,124				Summe der spektralen Verteilung
SUMME	,932	-,162	-,142	,177		Amplitudensumme
MAXA	,924		-,172	-,100		Amplitudenmaximum
MAXS	,892	-,262	-,147	,173		spektrales Maximum
LANG	,596	,162	-,111	,577		Länge des Sfericssignales
MEDIAN	-,124	,902	,192	-,114		spektraler Median
LSUM2		,831	,290		-,179	2. Viertel der spektralen Verteilung
NULL	,219	,792		,375		Anzahl der Nulldurchgänge
ORTMAXS		,759			,183	Ort des sepaktralen Maximums
LSUM1	,104	-,746	-,564		,143	1. Viertel der spektralen Verteilung
LSUM3	-,147	,182	,923			3. Viertel der spektralen Verteilung
LSUM4	-,243	,110	,906			4. Viertel der spektralen Verteilung
EBREIT	-,106			-,842		1/e Breite
ZEIT					-,730	Zeit der Registrierung
ENTFERN				,277	,584	Entfernung von der Basisstation Garching
WINK180				-,233	,372	Einfallswinkel

Tabelle 1: Rotierte Komponentenmatrix bei 5 Faktoren (Eigenwertschwelle = 1), Extraktionsmethode: Hauptkomponentenanalyse, Rotationsmethode: Varimax. Die auf die Faktoren hochladenden Werte (> 0,5) sind grau unterlegt.

4 Ausblick

Die gewonnenen Faktoren und die darüber hinaus erzielten Erkenntnisse stellen eine Basis für Korrelationsuntersuchungen mit psychologischen, physiologischen und biometeorologischen Parametern dar. Die wesentlichen Faktoren konnten deutlich erkannt werden, wobei ein verbleibender Interpretationsspielraum zwar vorhanden, aber als gering einzustufen ist.

Mögliche Anwendungen betreffen alle Studien, in welchen Sferics als Korrelationsparameter oder Auslöser bestimmter Reaktionen herangezogen werden. Allerdings ist dabei zu beachten, daß die notwendigen Faktoren nur über eine entsprechend umfassende primäre Sferics-Registrierung zu erhalten sind, wie sie das Garchinger Meßsystem umfaßt.

Literatur

- Betz H.-D., Eisert B., Gerl A., Kulzer R., Oettinger W. P., 1996a: Measurement of True Magnetic and Electric Waveforms of VLF-Atmospherics. Proc. 25th General Assembly URSI, Lille, 221.
- Betz H.-D., Kulzer R., Gerl A., Oettinger W. P., Eisert B., Jakubassa D., 1996b: On the Correlation between VLF-Atmospherics and Meteorological Data. Proc. 23rd Int. Conference on Lightning Protection (ICLP), Firenze, 203 - 208.
- Bucher K., 1993: Ein Verfahren zur objektiven Klassifikation des Wetters unter biosynoptischen Gesichtspunkten. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 183.
- König H. L., Ankermüller F., 1960: Über den Einfluß besonders niederfrequenter elektrischer Vorgänge in der Atmosphäre auf den Menschen. Die Naturwissenschaften, 468 - 490.
- Ruhenstroth-Bauer G., Hoffmann G., Vogl S., Baumer H., Kulzer R., Peters J., Staub F., 1994: Artificial Simulation of Natural Occurring, Biological Active Atmospherics. Electro- and Magnetobiology, 13, 1, 85 - 92.
- Schienze A., Stark R., Walter B., Vaitl D., Kulzer R., 1997: Effects of Low-Frequency Magnetic Fields on Electrocardiac Activity in Humans: A Sferics Simulation Study. Int. J. Neuroscience, 90, 1-2, 21-36.

VERGLEICHENDE ANALYSE DER LUFTQUALITÄT IN STADT UND WALD

A. Matzarakis, H. Mayer und P. Sczepanski
Meteorologisches Institut der Universität Freiburg,
Werderring 10, 79085 Freiburg

ZUSAMMENFASSUNG

Auf der Grundlage von Halbstundenmittelwerten der „klassischen“ Luftschadstoffe Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) aus dem Zeitraum 1992 bis 1996, die an den amtlichen Luftqualitätsmeßstellen Stuttgart-Mitte, Stuttgart-Bad Cannstatt und Welzheimer Wald einerseits sowie Freiburg-Mitte, Freiburg-Nord und Schwarzwald-Süd andererseits erhoben wurden, erfolgt eine vergleichende Analyse der Luftqualität in der Stadt und einem nahen Wald. Die Ergebnisse spiegeln substanzspezifische Unterschiede wider, die durch die räumliche Entfernung zu anthropogenen Emittenten geprägt sind und durch das mittlere Niveau der untersuchten Luftschadstoffe an den einzelnen Meßstellen modifiziert werden.

1 EINLEITUNG

Die Erholungsfunktion von stadtnahen Wäldern spielt in Ballungsgebieten eine große Rolle (Mayer und Höpfe, 1984). Zur Erholungseignung von stadtnahen Wäldern trägt die Qualität der Waldluft maßgeblich bei. Sie ist durch eine Ferne zu anthropogenen Emissionen gekennzeichnet. Deshalb wird sie - im Gegensatz zur Stadtluft - durch herantransportierte und sekundär gebildete Luftinhaltsstoffe sowie biogene Emissionen bestimmt.

Unter Verwendung von Daten für „klassische“ Luftschadstoffe von den amtlichen Luftqualitätsmeßstellen Freiburg-Mitte und Schwarzwald-Süd diskutierten Mayer et al. (1994) lufthygienische Unterschiede zwischen einer Stadt und einem nahen Wald. Um die dabei erzielten Ergebnisse auf eine breitere Basis zu stellen und statistisch abzusichern, wurde diese Untersuchung von Sczepanski (1998) unter Einbeziehung der gleichen Daten aus dem Ballungsraum Stuttgart fortgeführt.

Zur Beurteilung der lufthygienischen Unterschiede zwischen Stadt und Wald reichen „klassische“ Luftschadstoffe sicherlich nicht aus. Vielmehr müßten noch andere Substanzen, wie z.B. Kohlenwasserstoffe oder Schwebstaub, miteinbezogen werden. Allerdings gibt es dafür bis jetzt noch keine geeigneten langen Zeitreihen, so daß derzeit nur „klassische“ Luftschadstoffe als Datenbasis übrig bleiben.

Im folgenden werden einige überarbeitete Resultate aus der Untersuchung von Sczepanski (1998) präsentiert.

2 DATENGRUNDLAGE

Für den Zeitraum 1992 bis 1996 standen Halbstundenmittelwerte von Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) von amtlichen Luftqualitätsmeßstellen aus den Ballungsräumen Stuttgart und Freiburg zur Verfügung. Bei Stuttgart handelte es sich um die Stadtmeßstellen Stuttgart-Mitte (235 m ü. NN) und Stuttgart-Bad Cannstatt (235 m ü. NN) sowie um die ca. 40 km nordöstlich gelegene Waldmeßstelle Welzheimer Wald (500 m ü. NN). Für den Ballungsraum Freiburg stammten die Daten von den Stadtmeßstellen Freiburg-Mitte (240 m ü. NN) und Freiburg-Nord (245 m ü. NN) sowie von der ca. 25 km südlich gelegenen Waldmeßstelle Schwarzwald-Süd (920 m ü. NN). Die lufthygienische Situation im Ballungsraum Stuttgart ist durch starken Kfz-Verkehr geprägt, der in diesem Ausmaß im Ballungsraum Freiburg nicht vorhanden ist.

3 ERGEBNISSE

Für NO, NO₂ und O₃ sind in den Abb. 1, 2 und 3 die mittleren Tagesgänge der Differenzen zwischen Stuttgart-Mitte und Welzheimer Wald sowie zwischen Freiburg-Mitte und Schwarzwald-Süd dargestellt. Bei NO und NO₂ waren die Differenzen für den Ballungsraum Stuttgart immer größer als für den Ballungsraum Freiburg, was durch die stärkere Verkehrsbelastung an der Meßstelle Stuttgart-Mitte be-

dingt war. Bei O_3 hingegen dominierten - aufgrund der hohen O_3 -Konzentrationen an der Meßstelle Schwarzwald-Süd - die Differenzen im Ballungsraum Freiburg.

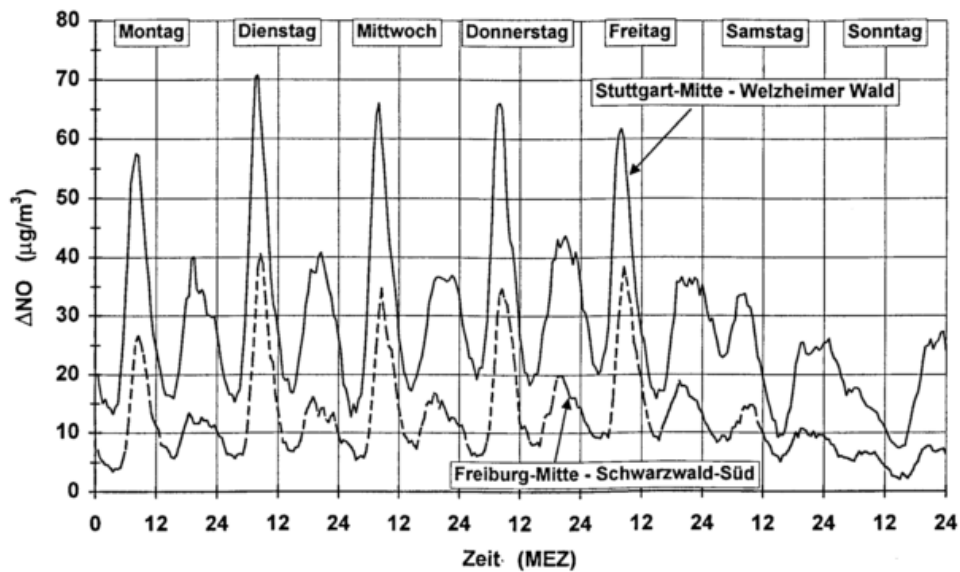


Abb. 1: Mittlere Tagesgänge der Differenzen von Stickstoffmonoxid (NO) zwischen den amtlichen Luftqualitätsmeßstellen Stuttgart-Mitte und Welzheimer Wald sowie Freiburg-Mitte und Schwarzwald-Süd im Zeitraum 1992 bis 1996

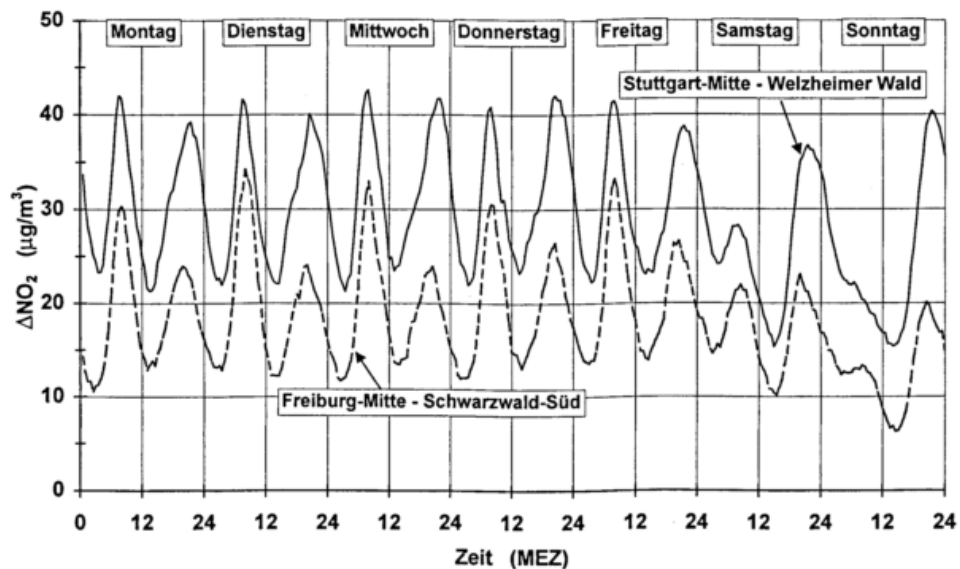


Abb. 2: Mittlere Tagesgänge der Differenzen von Stickstoffdioxid (NO_2) zwischen den amtlichen Luftqualitätsmeßstellen Stuttgart-Mitte und Welzheimer Wald sowie Freiburg-Mitte und Schwarzwald-Süd im Zeitraum 1992 bis 1996

In der Tab. 1 sind ergänzend die mittleren Konzentrationen von NO , NO_2 und O_3 im Zeitraum 1992 bis 1996 an allen hier berücksichtigten amtlichen Luftqualitätsmeßstellen zusammengestellt. Sie geben einen Überblick über die Belastung durch NO , NO_2 und O_3 an diesen Meßstellen. So weisen sie z.B. aufgrund der vergleichsweise hohen Konzentrationen von NO und NO_2 an den beiden Stadtmeßstellen in Stuttgart auf die dort vorhandene starke Verkehrsbelastung hin, die bei den Freiburger Stadtmeßstellen nicht gegeben ist. Für jeden Ballungsraum sind zusätzlich die auf die Meßstellen Stuttgart-Mitte bzw. Freiburg-Mitte bezogenen relativen Konzentrationen von NO , NO_2 und O_3 an den anderen Meßstellen angegeben, wodurch jeweils die mittleren Unterschiede zwischen Stadt und nahem Wald deut-

lich werden. So folgt daraus z.B., daß die mittleren O₃-Konzentrationen an den Waldmeßstellen um ca. den Faktor 2 über denjenigen an den Stadtmeßstellen lagen.

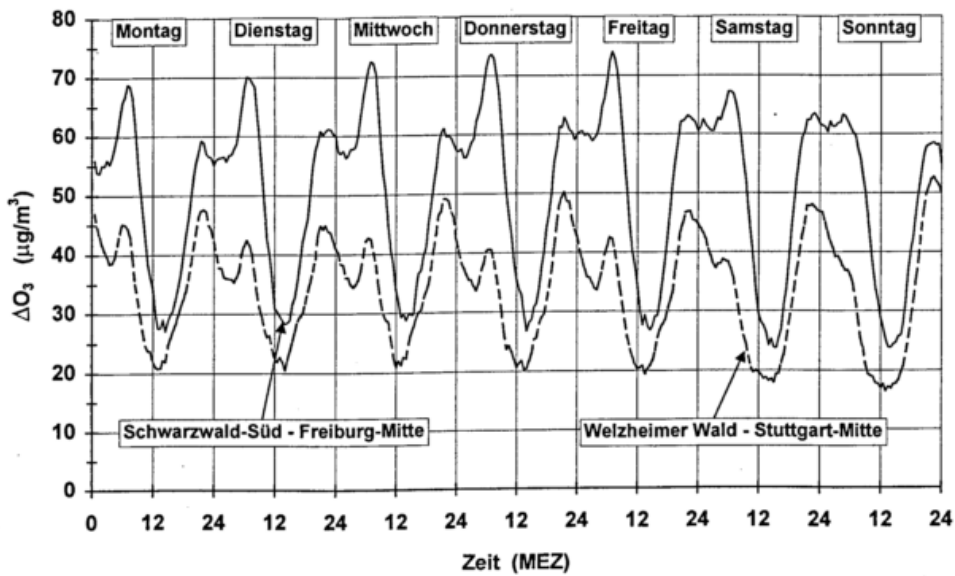


Abb. 3: Mittlere Tagesgänge der Differenzen von Ozon (O₃) zwischen den amtlichen Luftqualitätsmeßstellen Stuttgart-Mitte und Welzheimer Wald sowie Freiburg-Mitte und Schwarzwald-Süd im Zeitraum 1992 bis 1996

Tab. 1: Mittlere Konzentrationen von Stickstoffmonoxid (NO), Stickstoffdioxid (NO₂) und Ozon (O₃) an ausgewählten amtlichen Luftqualitätsmeßstellen im städtischen Bereich und in nahen Wäldern im Zeitraum 1992 bis 1996

	NO		NO ₂		O ₃	
	µg/m ³	%	µg/m ³	%	µg/m ³	%
Stuttgart-Mitte	29.98	100.0	42.36	100.0	36.44	100.0
Stuttgart-Bad Cannstatt	30.23	100.8	41.79	98.7	32.31	88.7
Welzheimer Wald	1.44	4.8	12.87	30.4	70.30	192.9
Freiburg-Mitte	14.26	100.0	24.65	100.0	49.11	100.0
Freiburg-Nord	17.11	120.0	32.91	133.5	47.11	95.9
Schwarzwald-Süd	2.15	15.1	6.46	26.2	99.62	202.9

LITERATUR

- Mayer, H., Höpfe, P., 1984: Die Bedeutung des Waldes für die Erholung aus der Sicht der Humanbioklimatologie. Forstw. Cbl., 103, 125-131.
- Mayer, H., Schmidt, J., Matzarakis, A., 1994: Lufthygienische Kennzeichen von stadtnahen Wäldern. Wetter und Leben, 46, 49-65.
- Sczepanski, P., 1998: Lufthygienische Unterschiede zwischen Stadt und Wald. Diplomarbeit, Forstw. Fak. Univ. Freiburg.

UNTERSUCHUNGEN ZUR DEPOSITIONSGESCHWINDIGKEIT DER POLLEN UNTER ATMOSPHÄRISCHEN BEDINGUNGEN

E. Schultz

Deutscher Wetterdienst, GF Medizin-Meteorologie
Stefan-Meier-Straße 4, D-79104 Freiburg

Die Depositionsgeschwindigkeit der Pollen bestimmt deren atmosphärische Auf-enhaltsdauer und damit die Transport- und Einwirkungsmöglichkeiten. Im vorliegenden Beitrag werden Untersuchungsergebnisse zur Depositionsgeschwindigkeit unterschiedlicher Pollenspezies unter atmosphärischen Bedingungen vorgestellt und diskutiert.

Grundlage für die Untersuchung waren zeitgleiche Messungen der Pollen-Konzentration mit der Pollenfalle nach Burkard und der Pollen-Depositionsrate in dem Sedimentationssammler Sigma-2 nach VDI 2119, Bl. 4. Die mikroskopische Unterscheidung und Zählung der Pollen erfolgte in beiden Fällen visuell unter Durchlicht-Hellfeld-Bedingungen bei 20- bzw. 40-facher Objektivvergrößerung. Der Zusammenhang zwischen der Pollenkonzentration c_p und der Pollendepositionsrate D_p ist über die Depositionsgeschwindigkeit v_p gegeben. Für die Berechnung der Depositionsgeschwindigkeit v_p wurde die Beziehung $v_p = D_p/c_p$ [cm s^{-1}] verwendet.

Die berechneten Geschwindigkeiten können als Endsinkgeschwindigkeit der Pollen in ruhiger Luft interpretiert werden und stellen somit eine untere Abschätzung dar. Ein Vergleich mit Literaturdaten zeigt z.T. deutliche Abweichungen, die auch auf den unterschiedlichen Zustand (Alter, Austrocknung, mechan. Beanspruchung) der jeweils untersuchten Pollen zurückgeführt werden können. Die Sinkgeschwindigkeit kann für eine Berechnung der Pollenkonzentration aus Depositionsmessungen verwendet werden.

Die vorgelegten Ergebnisse sind aufgrund des eingeschränkten Datenkollektivs noch als vorläufig anzusehen. Zur Absicherung sollen zusätzlich Daten aus automatischen Pollenzählungen mittels bildanalytischer Verfahren eingesetzt werden.

STICKSTOFFDIOXID - KENNTNISSTAND ZUR BELASTUNGSSITUATION UND ZU GESUNDHEITLICHEN WIRKUNGEN

H.-G. Mücke

WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control
im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene / Umweltbundesamt
Corrensplatz 1, D-14195 Berlin

ZUSAMMENFASSUNG

Seit den 90er Jahren bestimmt überwiegend der Kfz-Verkehr die Belastung der Außenluft durch Stickstoffdioxid (NO_2), vor allem in den städtischen Ballungsräumen Deutschlands. NO_2 kann als eine wichtige Luftschadstoffkomponente für die Gesundheit eines Großteils der Bevölkerung angesehen werden. An Kfz-exponierten Meßstellen können die NO_2 -Konzentrationen durchaus $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel und $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als kurzzeitige Spitzenwerte erreichen oder überschreiten. Offene Feuerstellen (z.B. Gasherde, Gasheizautomaten und Heißwasserbereiter) und das Tabakrauchen sind die NO_2 -Hauptquellen der Luftbelastung in Innenräumen. NO_2 -Messungen in deutschen Küchen ergaben mittlere Konzentrationen von bis zu $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und Spitzenkonzentrationen von fast $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die NO_2 -Konzentration in Innenräumen ohne Stickstoffdioxid-Quellen wird von den Außenluftverhältnissen bestimmt und liegt im Durchschnitt zwischen 20 und $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die überarbeiteten NO_2 -Richtwerte der WHO von 1998 sind: $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Jahresmittel und $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als Einstundenmittel. Als oxidatives und gering wasserlösliches Reizgas entwickelt NO_2 nach Inhalation seine Hauptwirkung in der Lungenperipherie. Veränderungen von Lungenfunktionsparametern und Zunahme der bronchialen Reagibilität sind die wesentlichen gesundheitlichen Wirkungen. Expositionsstudien zur Belastungssituation zeigen, daß Innenraumquellen zusätzlich im Mittel bis zu $5 \mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ beitragen können und daß das Lüftungsverhalten als eine wesentliche Einflußgröße mitangesehen werden kann.

1 EINLEITUNG

Stickstoffdioxid (NO_2) entsteht überwiegend als Folgeprodukt aus Stickstoffmonoxid (NO) durch Oxidation mit Sauerstoff (O_2). Natürliche Stickstoffdioxid (NO_x)-Emissionen entstehen u.a. durch Gewitterentladungen, Vulkanausbrüche und stratosphärische Intrusionsvorgänge. Diese Quellen sind über die gesamte Erde verteilt und tragen zu einer globalen Hintergrundbelastung von ca. 50 % bei. Anthropogene NO_x -Emissionen entstammen zu über 95 % aus Verbrennungsprozessen, wie sie typischerweise in Feuerungsanlagen und in Kfz-Motoren auftreten. Während noch zu Beginn der 70er Jahre Kraftwerke und Industrien mit rund 43 % die Hauptemittentengruppe waren, ist der Anteil von NO_x -Emissionen durch den Kraftfahrzeug (Kfz)-Verkehr stetig angestiegen. Seit den 90er Jahren hat sich der Kfz-Verkehr zum Hauptemittenten entwickelt. Der Einfluß des Kfz-Verkehrs bestimmt überwiegend die Außenluftbelastung durch NO_2 , vor allem in den städtischen Ballungsräumen. NO_2 kann damit als eine wichtige gesundheitsrelevante Luftschadstoffkomponente angesehen werden. In Deutschland ist die NO_2 -Belastung in den Städten im Mittel ca. doppelt so hoch wie in ländlichen Gebieten. An sog. Kfz-Meßstellen können die NO_2 -Konzentrationen durchaus $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel und $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als kurzzeitige Spitzenwerte erreichen oder überschreiten. Im ländlichen Raum liegen die NO_2 -Jahresmittelwerte häufig unter $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$; $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ werden äußerst selten überschritten. Die nachfolgende Zusammenstellung zeigt für Europa NO_2 -Jahresmittelwerte (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) von vergleichbaren City-Meßstationen ausgewählter Großstädte für die Zeit Mitte der 90er Jahre:

Wien 34, Berlin 42, Helsinki 42, Brüssel 50, Paris 62, Barcelona 66, Kopenhagen 69, Bukarest 69, Riga 70, Marseille 82, London 88, Athen 95, Budapest 99, Sofia (Wohngebiet) 125, Sofia (City) 207 (Quelle: WHO Healthy Cities Programm, AMIS 2.0, Genf 1998).

Zur Orientierung resp. Bewertung von Luftschadstoffen aus gesundheitlicher Sicht dienen die Luftqualitätsrichtwerte der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Für NO_2 wurden 1997 in den überarbeiteten 'WHO Air Quality Guidelines for Europe' folgende Richtwerte festgelegt: $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ als

Jahresmittel (relevant für chronische Beeinträchtigungen) und 200 µg/m³ als Einstundenmittel (relevant für akute Effekte).

Offene Feuerstellen (z.B. Gasherde, Gasheizautomaten und Heißwasserbereiter) und das Tabakrauchen sind die NO₂-Hauptquellen der Luftbelastung in Innenräumen. NO₂-Messungen in deutschen Küchen ergaben mittlere Konzentrationen von bis zu 50 µg/m³ und Konzentrationspitzen von fast 200 µg/m³. Die NO₂-Konzentration in Innenräumen ohne Stickstoffoxid-Quellen wird von den Außenluftverhältnissen mitbestimmt und liegt im Durchschnitt zwischen 20 und 30 µg/m³.

2 GESUNDHEITLICHE WIRKUNGEN

NO₂ ist ein stark oxidierendes Reizgas mit geringer Wasserlöslichkeit und stechend-stickigem Geruch, das im Vergleich zu Ozon jedoch schwächer reaktiv ist. Expositionskammer-Studien haben gezeigt, daß die geruchliche Wahrnehmungsschwelle je nach Untersuchungsbedingungen zwischen 200 und 410 µg/m³ liegt. Bei langsam zunehmender Konzentrationserhöhung erfolgt bis zu wesentlich höheren Konzentrationen keine Geruchswahrnehmung. Nach Inhalation entwickelt NO₂ seine Hauptwirkung in der Lungenperipherie. Ca. 60% des inhalierten NO₂ dringt bis zu den terminalen Bronchiolen und Alveolen vor. Die Faktoren, die die Ausprägung der Schädigung entscheidend bestimmen, sind - wie bei den meisten inhalativen Reizstoffen - Konzentrationshöhe, Dauer der Exposition, Konzentrationsverlauf und Atemminutenvolumen. Die wesentlichen Wirkungen sind: Beeinträchtigung der Lungenfunktion im Sinne einer Erhöhung des Atemwegwiderstandes, und die damit verbundene Veränderung einer großen Zahl funktioneller Parameter, sowie die Zunahme der bronchialen Reagibilität. Trotz existierender Unsicherheiten und Unklarheiten, sowie einer bislang fehlenden präzisen Abschätzung der Dosis-Wirkungs-Beziehung für die NO₂-Exposition müssen nach derzeitigem Kenntnisstand Asthmatiker und Kinder als Individuen mit erhöhtem Risiko gegenüber NO₂ betrachtet werden. Was die biologische Wirkung des NO₂ anbetrifft, muß ein "Wirkungskontinuum" angenommen werden, d.h., daß es für diesen Schadstoff wegen seiner Reaktionsbereitschaft keine "Wirkschwelle" gibt. Hinsichtlich einer weiterführenden und tiefergehenden Beschreibung der gesundheitlichen Wirkungen sei hier auf die Literatur verwiesen (Mücke und Wagner, 1998).

3 EXPOSITIONSSTUDIEN ZUR BELASTUNGSSITUATION

Generell ist für epidemiologische Studien anzumerken, daß der Zusammenhang zwischen NO₂-Konzentrationen der Außenluft und gesundheitlichen Wirkungen quantitativ geringer ausgeprägt ist als unter Berücksichtigung von NO₂-Innenraumlufkonzentrationen, selbst wenn die Ergebnisse qualitativ vergleichbar sind. Das Hauptproblem bei der quantitativen Abschätzung gesundheitlicher Effekte durch NO₂-Konzentrationen der Außenluft ist die eindeutige Zuordnung der Wirkungsbefunde zum NO₂ aus dem Luftschadstoffgemisch urbaner Ballungsräume. Dennoch kann NO₂ als ein guter Indikator insbesondere für Kfz-bedingte Luftverunreinigungen angesehen werden. Nachfolgend wird in komprimierter Form exemplarisch von zwei ausgewählten Untersuchungen zur Ermittlung der Belastungssituation durch NO₂-Exposition berichtet. Die Originalarbeiten (Monn et al., 1998 und Spengler et al., 1996) sind in der Literatur zitiert.

SAPALDIA-Studie

Innerhalb der SAPALDIA (Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases in Adults)-Studie wurde im Zeitraum Dezember 1992 bis Dezember 1993 die NO₂-Konzentration in der Außen- und Innenraumluft, sowie die persönliche NO₂-Exposition von über 500 Probanden in 8 Regionen der Schweiz bestimmt. Zur Messung der NO₂-Konzentration ist ein passives Sammelverfahren (Palmes-Röhrchen) eingesetzt worden. Der Meßzeitraum betrug eine Woche. Zur Außenluftmessung wurde ein Palmes-Röhrchen vor dem Schlafzimmerfenster exponiert. Die Innenraumlufmessung fand im Schlafzimmer statt. Zur persönlichen Expositionsermittlung wurde ein Röhrchen an der Kleidung im Brustbereich befestigt. Die mittleren NO₂-Konzentrationen über alle Messungen liegen für die personenbezogene Exposition bei 27 µg/m³, für den Innenraumlufbereich bei 21 µg/m³ und für die Außenluft bei 31 µg/m³. Selbst wenn jahreszeitlich bedingte Unterschiede zwischen Innen- und Außenluftkonzentrationen gemessen wurden, so konnte festgestellt werden, daß die personenbezogenen NO₂-Konzentrationen über das Jahr verteilt nur geringe Variationen aufzeigen.

Der Betrieb von Gasgeräten in Küchen ist als NO₂-Innenraumquelle wohl bekannt. Da solche Geräte in den Städten Genf, Lugano und Basel eingesetzt werden, soll sich die folgende tabellarische Ergebniszusammenstellung auf diese drei Städte konzentrieren. Modellberechnungen zur Abschätzung des Einflusses von Innenraumquellen zeigen, daß 'Kochen mit Gas' und 'Rauchen' als die wichtigsten Parameter anzusehen sind. 'Kochen mit Gas' trägt zu einer zusätzlichen mittleren NO₂-Belastung von 5 µg/m³ und 'Rauchen' von 2,2 µg/m³ bei. Wesentliche Einflußgröße ist auch das Lüftungsverhalten, dessen Einfluß auch auf 2,2 µg/m³ geschätzt wird.

Tabelle 1: NO₂-Konzentrationen in der Schweiz (Außen-u. Innenluft und personenbezogen, in µg/m³)

	<u>Außenluft</u>	<u>Wohnung m. Gasherd</u>	<u>Wohnung m. E-herd</u>	<u>personenb. mit Gas</u>	<u>personenb. ohne Gas</u>	<u>personenb. Rau./Nrau.</u>
Genf	45	40	32	45	38	43 / 38
Lugano	45	36	30	40	35	40 / 36
Basel	40	29	24	35	31	36 / 32

Internationale Harvard-Kurzzeitstudie

Die internationale Harvard-Kurzzeitstudie erfaßte im Februar/März 1996 von ca. 500 Probanden die NO₂-Konzentrationen in der Außen- und Innenraumluft sowie die personenbezogene NO₂-Exposition weltweit in 17 Städten aus 13 Staaten. Zur Messung der NO₂-Konzentrationen ist ein passives Sammelverfahren (Yanagisawa Badges) eingesetzt worden. Die Passivsammler wurden über einen Zeitraum von 48 Stunden vor einem Wohnungsfenster, im Wohnraum und an der Kleidung des jeweiligen Probanden exponiert. Die Studie zeigte, daß sich die NO₂-Innenraumluftkonzentration fast um den Faktor 10 zwischen den Untersuchungsorten unterscheiden kann (10,5 µg/m³ in Kuopio, Finnland und 83 µg/m³ in Seoul, Korea). Hinsichtlich der NO₂-Konzentration in der Außenluft konnten nur geringfügige Unterschiede festgestellt werden. Dies hat seinen Grund darin, daß die Studie in großstädtischen Ballungsräumen, die durch Industrien und vor allem durch den Kfz-Verkehr beeinflusst sind, durchgeführt wurde. Die NO₂-Außenluftkonzentrationen lagen zwischen 22 µg/m³ in Sapporo, Japan, und 97 µg/m³ in Seoul, Korea. Deutliche Unterschiede wurden für das Verhältnis zwischen NO₂-Konzentrationen der Außen- und Innenraumluft in Abhängigkeit geographischer und klimatologischer Faktoren festgestellt. Während vornehmlich asiatische Staaten im Mittel ein Innen-/Außenluftverhältnis von mindestens 1,0 haben (Maximum in Tokushima, Japan: 2,8), ist dieses Verhältnis in Europa und Nord-Amerika unter 1,0 (Minimum in Berlin: 0,3). Abschließend gibt die nachfolgende Tabelle Auskunft über die Ergebnisse der in Berlin durchgeführten NO₂-Messungen, an denen ein Teilkollektiv von 30 Probanden beteiligt war.

Tabelle 2: NO₂-Konzentrationen in Berlin (Außen-und Innenluft u. personenbezogen, in µg/m³)

	<u>Außenluft</u>	<u>Innenraumluft</u>	<u>personenb.</u>
Minimalwert	44	6	25
Mittelwert	71	23	39
Maximalwert	102	57	56

LITERATUR

- C. Monn, O. Brändli, C. Schindler, U. Ackermann-Lieblich, P. Leunenberger, SAPALDIA Team 1998: Personal Exposure to Nitrogen Dioxide in Switzerland. The Science of the Total Environment 215 (1998), 243 - 251.
- H.-G. Mücke und H.M. Wagner 1998: Anorganische Gase/Stickstoffdioxid. Kapitel VI-1, S. 1 - 24. In: Wichmann-Schlipkötter-Fülgraff (Hrsg.): Handbuch der Umweltmedizin, 14. Erg.Lfg. 10/98.
- D. Spengler et al. 1996: Impact of Residential Nitrogen Dioxide Exposure on Personal Exposure: An International Study. Proceedings of the 7th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, 931 - 936.

ANFORDERUNGEN AN LUFTHYGIENISCHE MESSUNGEN FÜR UMWELTMEDIZINISCHE UNTERSUCHUNGEN

G. Jakobi

Lehrstuhl für Bioklimatologie und Immissionsforschung, Universität München
Am Hochanger 13, 85354 Freising-Weihenstephan

ZUSAMMENFASSUNG

Lufthygienische Daten, die zur Interpretation umweltmedizinischer Untersuchungen herangezogen werden, spiegeln die tatsächlich aufgenommene Schadstoffdosis oft nur unzureichend oder gar nicht wider. Dies gilt, da Luftschadstoffmessungen sehr teuer sind und die lufthygienischen Daten deshalb oft verfügbaren Meßnetzen entnommen werden, die jedoch für andere Untersuchungsziele konzipiert wurden. Besonders problematisch ist dabei die Trennung der lufthygienischen Messungen vom Expositionsort der Probanden, da die räumliche Homogenität der luftchemischen Größen nicht vorausgesetzt werden kann. Die Konzentration der gemessenen Luftschadstoffe an einem Standort wird sehr wesentlich durch topografische, orografische und meteorologische Faktoren, der Luftprobenahmehöhe, aber auch durch die spezifische Struktur der Umgebung und der Entfernung zu Emissionsquellen, z.B. dem Verkehr, beeinflusst. Neben der Repräsentativität des Meßstandortes für die Expositionsbedingungen der zu untersuchenden Probanden muß für eine verbesserte Abschätzung der Schadstoffdosis aber auch die Tatsache berücksichtigt werden, daß sich der Mensch die überwiegende Zeit des Tages in Innenräumen aufhält. Diese können sowohl andere Konzentrationsverhältnisse als auch andere Schadstoffspektren aufweisen. Als weiterer Einflußfaktor muß die zeitliche Auflösung der Meßwerte berücksichtigt werden. Während zur Expositionsabschätzung gegenüber chronischen Wirkungen Tages- oder Monatsmittelwerte bereits ausreichend sein können, sind für die Untersuchung akuter Wirkungen zeitlich höher aufgelöste Meßwerte notwendig.

EINLEITUNG

Die für Wirkungen von Luftschadstoffen auf den menschlichen Organismus relevante Größe ist die "effektive Dosis", welche sich im allgemeinen als Produkt der Konzentration, dem Atemminutenvolumen (Aktivität) und der Expositionsdauer berechnet. Bei der Untersuchung des Einflusses von Luftschadstoffen auf die menschliche Gesundheit wird allerdings häufig kritisch diskutiert, daß die dazu verwendeten lufthygienischen Daten die tatsächlich aufgenommene Schadstoffdosis nur unzureichend oder gar nicht widerspiegeln. Ursache dafür ist zum einen die Tatsache, daß Umweltbelastungen sehr komplexe Stoffgemische darstellen und Luftschadstoffmessungen sehr teuer sind. So werden die verwendeten lufthygienischen Daten oft nicht spezifisch für diese Studien erhoben, sondern müssen aus Kostengründen verfügbaren Meßnetzen, die meist für ganz andere Untersuchungsziele konzipiert sind, entnommen werden. Zum anderen kann aber auch die Auswahl ungeeigneter Meßstandorte oder die Verwendung ungeeigneter Mittelungsintervalle die Ursache dafür sein. Die damit verbundenen potentiellen Probleme sollen im folgenden diskutiert und Hinweise zur Messung und/oder Anwendung von lufthygienischen Daten abgeleitet werden, die das Konzentrationsniveau während der Exposition möglichst adäquat beschreiben und so zu einer verbesserten Expositionsabschätzung beitragen können.

PROBLEMATIK

Eines der Hauptprobleme bei umweltmedizinischen Untersuchungen ist die räumliche Trennung des Expositionsortes der Probanden vom Probenahmeort der lufthygienischen Messungen, da die räumliche Homogenität der luftchemischen Größen im allgemeinen nicht vorausgesetzt werden kann (Winterhalter, 1996). Selbst unter der Annahme, daß, aufgrund der herrschenden meteorologischen Bedingungen (in erster Linie der Windrichtung), das untersuchte Luftpaket auf direktem Weg zu dem Ort transportiert wird, wo die Probanden diesem exponiert sind, können sich durch chemische Reaktionen und Verdünnungsprozesse sowohl dessen qualitative als auch dessen quantitative Zusammensetzung verändern. Prinzipiell werden die lufthygienischen Verhältnisse eines Standortes in starkem Maße durch die topografische und orografische Lage, die Bebauungsstrukturen und die Vegetation in der unmittelbaren Umgebung, die Entfernung zu Emissionsquellen (Verkehr) und sehr wesentlich durch die meteorologischen Faktoren geprägt.

Die große Variationsbreite der mittleren Konzentrationsverhältnisse eines Luftschadstoffes ist in Abb. 1 exemplarisch für Ozon dargestellt. Diese Abbildung verdeutlicht, daß mit Ozonmessungen, die in einer Parkanlage durchgeführt wurden, die Ozondosis, welcher Politessen während ihres Dienstes (Straßennähe) exponiert waren, deutlich überschätzt würde. Messungen von Verkehrsabgase wie NO oder CO am gleichen Ort würden dagegen zu einer Unterschätzung deren effektiver Dosis führen. Lufthygienische Messungen sollten entsprechend ihrer spezifischen medizinischen Fragestellung geplant oder durchgeführt werden. Sie müssen die lufthygienischen Verhältnisse der Orte, an welchen die zu untersuchenden Probanden leben, arbeiten oder Sport treiben, möglichst adäquat wiedergeben.

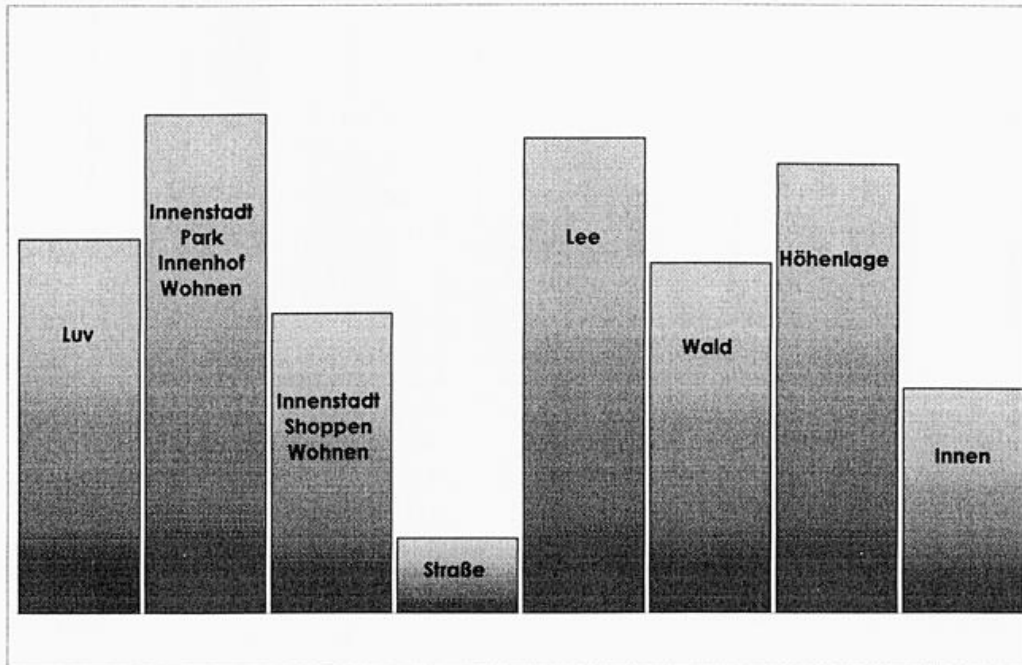


Abb. 1: Schematischer Vergleich der mittleren Ozonkonzentrationen an unterschiedlichen Orten

Primäre und sekundäre Luftschadstoffe zeigen in der untersten Luftschicht, und damit im Atembereich des Menschen zwischen 0,5m und 2m über Grund, inverse Vertikalgradienten. So nimmt die Konzentration von primären Luftschadstoffen, wie Verkehrsabgasen (NO, CO, Kohlenwasserstoffe), nicht nur mit der Entfernung von der Quelle (Straße) sondern auch mit der Höhe ab (GMEPW, 1989, Lahmann, 1969, UMEG, 1996). Da im Rahmen von Routinemeßnetzen die Messung der Luftschadstoffe im allgemeinen in Höhen durchgeführt wird, die oberhalb des Atembereiches des Menschen liegen (3m bis 5m über Grund), wird die tatsächliche Exposition gegenüber den primären Luftschadstoffen im allgemeinen eher unterschätzt. Für sekundäre Luftschadstoffe, wie Ozon, wird dagegen die Exposition überschätzt, allerdings sind die Gradienten wesentlich geringer.

Sowohl die Schadstoffkonzentration als auch das Aktivitätsverhalten sind entscheidende Faktoren zur Berechnung der effektiven Dosis. Beide Parameter sind durch eine große tägliche Variabilität charakterisiert. Während diese zur Untersuchung chronischer Effekte nur eine untergeordnete Rolle spielt, und damit Tages- oder Monatsmittelwerte der entsprechenden Luftschadstoffe zur Berechnung der Dosis ausreichend sein können, erfordert die Untersuchung akuter Effekte zeitlich höher aufgelöste Meßwerte. So sind die maximalen täglichen Halbstundenmittelwerte der Ozonkonzentration im allgemeinen im Mittel etwa doppelt so hoch wie die Tagesmittelwerte. Das Maximum tritt dabei in der Regel am späten Nachmittag auf und fällt damit in die Zeit erhöhter Freizeitaktivität der Menschen.

Routinemäßige Luftschadstoffmessungen erfolgen in der Außenluft und üblicherweise können auch nur Außenluftdaten zur Expositionsabschätzung herangezogen werden. Die Tatsache, daß sich der Mensch in Abhängigkeit von Beruf, Freizeitverhalten, Alter und Gesundheitszustand zu mehr als 80% seiner Zeit in Innenräumen aufhält, bleibt meist unberücksichtigt. Dabei können in Innenräumen sowohl andere Konzentrationsverhältnisse als auch andere Schadstoffspektren, verglichen mit der Außenluft, gefunden werden. Dies wird in Abb. 2 deutlich, in der die mittleren Verhältnisse der Konzentrationen innen/außen für einige typische Luftschadstoffe dargestellt sind. Besonders Kohlen-

wasserstoffe können dabei in der Innenraumluft Werte annehmen, die ein Vielfaches über denen in der Außenluft liegen. Sekundäre Luftschadstoffe weisen dagegen meist deutlich geringere Werte auf.

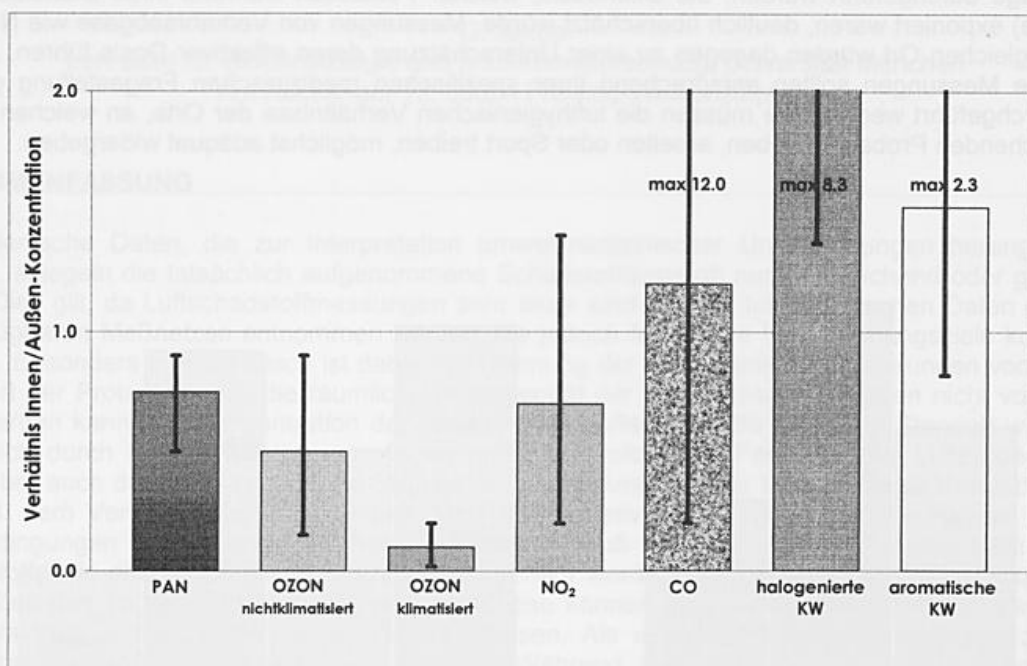


Abb. 2: Mittelwerte (Säulen) und typische Bereiche (Balken) der Innen/Außen-Konzentrationsverhältnisse einiger Luftschadstoffe (Bachmann et al., 1994, Jakobi und Fabian, 1997)

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der Idealfall, die gleichzeitige Messung aller potentiellen Luftschadstoffe zudem probandennah und zeitlich hochaufgelöst, wird auch in Zukunft sehr teuer und meist nicht realisierbar sein. Basierend auf einer detaillierten Definition der Erfordernisse aus medizinischer Sicht sollte es jedoch möglich sein, die spezifischen Anforderungen an die lufthygienischen Meßwerte für die jeweilige Studie abzuleiten und geeignete Daten auszuwählen oder entsprechende Messungen zu planen. Grundvoraussetzung dafür ist jedoch eine engere interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den für die medizinischen und für die lufthygienischen Untersuchungen verantwortlichen Forschergruppen.

LITERATUR

- Bachmann, J., Steisslinger, B., Zuberbühler, U., Baumbach, G., 1994: Eindringen von Ozon und verkehrsbedingten Abgasen in Hausinnenräume, in: Jahresbericht, Arbeitsgruppe Luftreinhaltung der Universität Stuttgart, 41-47
- GMEPW, 1989: The atmospheric pollution in Athens region, Greek Ministry of Environment, Physical Planning and Public Works, Athens, Vol. III
- Jakobi, G., Fabian, P., 1997: Indoor/outdoor concentrations of ozone and peroxyacetyl nitrate (PAN), Int. J. Biometeorol 40, 162-165
- Lahmann, E., 1969: Untersuchungen über Luftverunreinigungen durch den Kraftverkehr, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 28
- UMEG, 1996: Ergebnisse der Benzolmessungen in Straßennähe 1992-1995, UMEG-Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen mbH, Bericht 31-4
- Winterhalter, M., 1996: Beurteilung epidemiologischer Untersuchungen über Atemwegserkrankungen aus meteorologischer und lufthygienischer Sicht, Umweltmedizin 1

STAND DER WISSENSCHAFT IN DER KLIMATHERAPIE

A. Schuh

Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie der Ludwig-Maximilians-Universität,
Marchioninstr. 17, 81377 München

ZUSAMMENFASSUNG

Die modernen Klimatherapieformen werden als ambulante und stationäre Kur- und Rehabilitationsmaßnahmen auf wissenschaftlich gesicherter Grundlage durchgeführt und mit dem dosierten Einsatz der Klimafaktoren sowie ggf. mit Hilfe eines Paketes kurortspezifischer Maßnahmen zur gezielten Prävention und Behandlung konkreter, fest umrissener Krankheitsbilder und chronischer Leiden. Der therapeutische Effekt und die langfristige Besserung der Beschwerden sind nachgewiesen. Die Hauptindikationen der neuen Klimatherapie sind Atopien, nicht-allergische Haut- und Atemwegserkrankungen, Trainingsmangel und Koronare Herzkrankheit sowie Osteoporose; die Klimatherapie richtet sich dabei in Abhängigkeit von dem zu behandelnden Krankheitsbild nach der Reizstärke bzw. den schonenden Elementen von See-, Mittelgebirgs- und Hochgebirgsklima.

Für eine erfolgreiche klimatherapeutische Behandlung muß der Körper während mehreren Wochen täglich bei individueller und exakter Dosierung den biometeorologischen Bedingungen ausgesetzt werden. In der modernen Klimatherapie werden dazu drei verschiedene Methoden angewendet: Die Terrainkur, Heliotherapie und Frischluft-Liegekur. Ihre Wirksamkeit wird anhand sog. "harter" Parameter untersucht.

Die Mehrere Arbeitsgruppen befassen sich z.B. mit den Auswirkungen der künstlichen UV-B-Strahlung auf physiologische Parameter bzw. verschiedene Krankheitsbilder. Eigene Studien untersuchen die therapeutischen Wirkungen der natürlichen Sonnenstrahlung während Heliotherapie im Rahmen der Klimatherapie. Dabei steht vor allen die durch die Heliotherapie hervorgerufene Steigerung der Vitamin-D₃-Synthese Vordergrund; in jüngster Zeit war es möglich, zahlreiche gesundheitsfördernde Auswirkungen zu belegen.

1 EINLEITUNG

Bei der Heliotherapie werden erkrankte Teile der Haut oder der ganze Körper der Sonne exponiert. Das Dosierungskriterium für die Heliotherapie stellt der erythemwirksame ultraviolette Anteil der Sonnenstrahlung, das UV-B, dar. Die individuelle UV-Empfindlichkeit kann durch Ermittlung der Minimalen Erythemschwelle, d.h. die Zeitdauer, bis gerade ein Erythem bei gegebener Strahlungsintensität auftritt, festgelegt werden; sie wird durch den jeweiligen Hauttyp und den Bräunungsgrad bestimmt. Für die Dosierung der Heliotherapie werden z.Zt. Diagramme entwickelt, die je nach geographischer Breite, Jahres- und Tageszeit sowie Bewölkungsgrad Richtlinien bieten; die Empfehlungen gelten entsprechend der Hauttypen (STICK 1996) (Abb. 1). Der Strahlungsgenuß richtet sich zusätzlich nach dem Sonnenstand und der Ausrichtung des Menschen in Richtung Sonne. Heliotherapie wird in der Regel ohne kosmetischen Sonnenschutz durchgeführt, um die biopositiven Effekte des UV-B nicht einzuschränken.

Sonnenstrahlung, d.h der UV-B-Anteil des Spektrums, führt über die Haut zu zahlreichen gesundheitsfördernden Effekten: Die Steigerung der Vitamin-D₃-Synthese ist dabei eines der wesentlichsten therapeutischen Ziele der Klimatherapie. Auch die Effekte der klimatherapeutischen Behandlung der Psoriasis vulgaris, bei der die Sonnenstrahlung ein wichtigster Bestandteil ist, führen über die Beeinflussung des Vitamin-D-Spiegels.

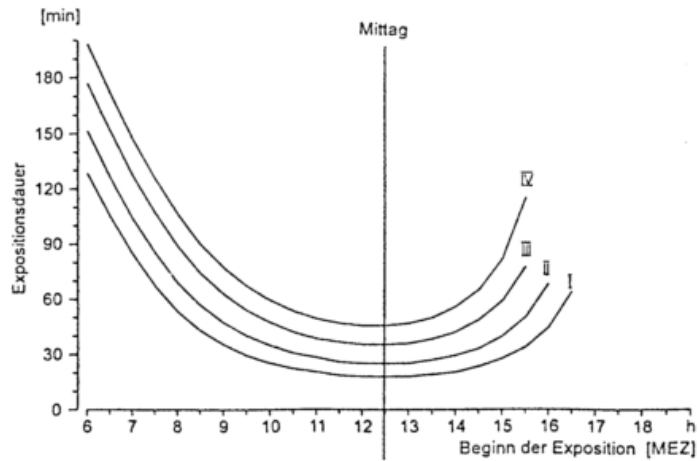


Abb. 1: Dosierungsschema für Heliotherapie an der See (STICK 1996). Expositionszeiten bis zum Erreichen der minimalen Erythemdosen für die Hauttypen I bis IV in Abhängigkeit von der Tageszeit.

2 METHODIK

Während einer Studie, die in Davos stattfand, haben sich 40 Psoriatiker einer 4wöchigen Ganzkörper-Heliotherapie unterzogen. Die Sonnenexposition fand bei schönem Wetter täglich ohne Bekleidung auf dem Dach der Klinik am späten Vormittag statt. Die Patienten sonnten sich nach ärztlichen Vorgaben in Abhängigkeit von Hauttyp und Krankheitszustand in ansteigenden, suberythematischen Dosen. Die Sonnenzeiten wurden in täglichen Protokollen festgehalten. Die Sonnendosen, welche die Patienten auf diese Weise erhielten, wurden retrospektiv mit der Hilfe von Daten des Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos erfaßt; dort wird die Dosis der UV-B-Strahlung aus der Hemisphäre, welche den Erdboden erreicht, mit einem UV-Biometer gemessen, dessen spektrale Empfindlichkeit auf die menschliche Haut bezogen ist und die UV-B-Dosis in MED anzeigt. Entsprechend der Gesamtdosis, welche die Patienten während des Aufenthaltes in Davos erhalten haben, wurden sie in zwei Gruppen eingeteilt: 26 Patienten erhielten während der Therapie eine mittlere UV-B-Gesamtdosis von 41 MED; die 14 Kontroll-Patienten setzten sich bei sonst gleichem Therapieregime nur einer Gesamtstrahlung von im Mittel 6 MED aus.

3 ERGEBNISSE

Nach der 4wöchigen Besonnung zeigt die Heliotherapiegruppe einen signifikanten Anstieg der Vitamin-D₃-Spiegel (Abb. 2). Die Werte der Kontrolle haben sich nicht verändert. Der Unterschied beider Gruppen ist statistisch gesichert.

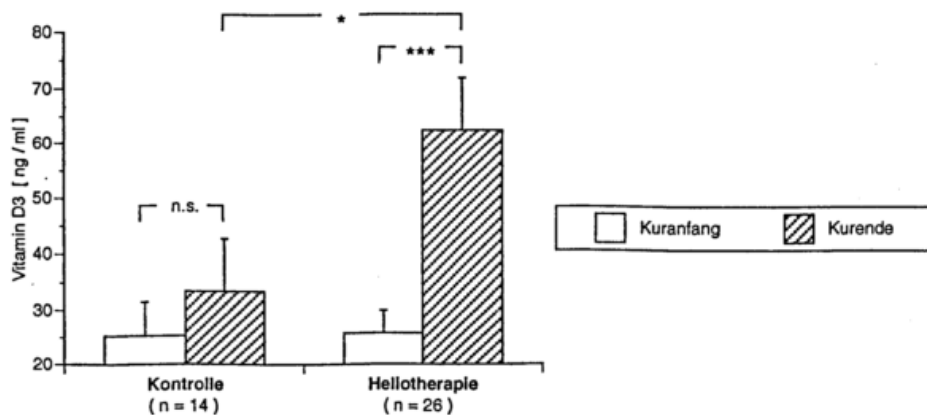


Abb. 2: Vitamin-D₃-Spiegel im Serum in ng/ml. Patienten mit Psoriasis. Heliotherapiegruppe (n=26); Kontrolle: keine Besonnung (n=14). Kuranfang/-ende in Davos. Mittelwerte und Standardabweichung, Statistik ($p < 0,1$ *, $p < 0,05$ **, $p < 0,001$ ***).

Die erzielte Vitamin-D₃-Zunahme der besonnten Patienten liegt in einer therapeutisch relevanten Größenordnung.

4 DISKUSSION

Obige Resultate zeigen, daß nicht nur künstliche Bestrahlung, sondern auch die Anwendung von natürlicher Sonnenstrahlung zu einer gesicherten Zunahme der Vitamin-D₃-Werte im Serum führt. Nach dem heutigen Kenntnisstand ist das Vitamin D der wesentliche Vermittler der biopositiven Effekte der Sonne und ruft u.a. die Dämpfung der Proliferation der Haut bei Psoriasis, eine Steigerung des Knochenstoffwechsels bei Osteoporose (SCHUH und SENN 1997, FALKENBACH 1995) und eine Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Trainingsmangel (SCHUH et al. 1993) hervor. Neuere Arbeiten geben außerdem Hinweise darauf, daß das Vitamin D₃ gemeinsam mit weiteren Elementen der Immunabwehr einen Regulator der Immunantwort darstellt, da in aktivierten T-Zellen, d.h. in immunkompetente Zellen, Rezeptoren für Calzitriol (1,25-Dihydroxyvitamin-D₃) gefunden wurde (Hewison 1992).

Vitamin D könnte somit eine ähnliche Rolle in der Immunabwehr übernehmen wie die Zytokine; die vorliegenden Ergebnisse über Wirkungen auf die immunologische Aktivität einzelner Zellsysteme sind jedoch noch nicht eindeutig interpretierbar (Übersicht in Falkenbach 1995). Die Herzfrequenz- und blutdrucksenkende Wirkung der UV-B-Strahlung (BÜHRING 1986) wird auf einen günstigeren vegetativen Tonus der kardialen Regulation zurückgeführt. Als Grund dafür wird ebenfalls das kalziumregulierende Vitamin-D-Hormonsystem diskutiert. Die verbesserten metabolischen Verhältnisse der arbeitenden Muskulatur (BÜHRING et al. 1996, SCHUH et al., 1993) könnten von einer erleichterten Sauerstoffabgabe aus dem peripheren Blut an die arbeitende Muskelzelle in Folge einer Rechtsverschiebung der Sauerstoffbindungskurve herrühren: Humpeler et al. (1982) fanden nach UV-Exposition erhöhte 2,3-Diphosphoglyzerat-Konzentrationen in den Erythrozyten; ursächlich könnte der Einfluß des Vitamin D₃, welches die intestinale Phosphatabsorption steigert, sein. Auch der direkte Einfluß der Sonnenstrahlung auf den Knochenstoffwechsel führt über das Vitamin-D-Hormonsystem: Bei ausreichender Sonnenexposition werden rund 90 % des menschlichen Vitamin-D-Bedarfs durch die Synthese des Vitamins D₃ in der Haut gedeckt. Die Hemmung der Proliferation der Haut nach Heliotherapie der Psoriasis bewiesen ist kommt wahrscheinlich ebenfalls über die Vitamin-D₃-Bildung durch UV-B zustande; Ergebnisse von Untersuchungen, in denen mit der topischen und oralen Gabe von Vitamin D₃ eine Verringerung des Beschwerdebildes von Psoriatikern erzielt wurde, weisen in dieselbe Richtung (ARAUJO et al. 1991).

LITERATUR

- Araujo O.E., F.P. Flowers, K. Brown: Vitamin D Therapy in Psoriasis. *DICP Ann Pharmacother*, Vol. 25 (1991) 835-839
- Bühring M., M.P. Bocionek, W. Schulz-Amling, K. Kemmerer, F. Wolff, K. Pirlet: Unterschiedliche Effekte einer Bestrahlung mit UVA und UVB. *Kreislauffunktionswerte und Vigilanz nach einmaliger und nach serieller Exposition. Strahlentherapie* 158 (1982) 490-497
- Bühring M., K. Britzke, R. Krause, F. Boldt, R. Klamroth, P. Bocionek, G. Kühn: Serielle UV-Exposition mit einem natürlichen Strahlenspektrum (UVA und UVB) verbessert die Kreislaufregulation und die aerobe Kapazität (Laktatstoffwechsel) bei Patienten mit koronarer Herzerkrankung. *Phys. Rehab Kur Med* 6 (1996) 16-18
- Falkenbach A.: *Sonne und Mensch - Nutzen und Risiko ultravioletter Strahlen*. Verlag Kovac, Hamburg 1995
- Hewison M.: Vitamin D and the immune system. *J. Endocrinol.* 132 (1992) 173-175
- Humpeler E., H. Maierbäurl, H. Königsmann: Effects of whole body UV-irradiation on oxygen delivery from the erythrocyte. *Europ. J. Appl. Physiol.* 49 (1982) 209-214
- Schuh A., W. Kneist, H.J. Schmitt: Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit von durchschnittlich trainierten Personen durch natürliche Sonnenstrahlung (Heliotherapie). *Phys. Rehab. Kur Med.* 3 (1993) 95-99
- Schuh, A., E. Senn: Klimatherapie bei Osteoporose. *MMW* 139/21 (1997) 334-336
- Stick C.: Spektrometrische Erfassung der solaren Ultraviolettstrahlung an der Nordseeküste. *Phys Rehab Kur Med* 6 (1996) 1-6

WETTER UND KÖRPERLICHE BELASTUNG BEI GESUNDEN

Dipl. - Met. A. Henneberger (*), Prof. Dr. Dr. A. Schuh (*), Prof. Dr. P. Fabian (**),
Prof. Dr. D. Hölzel (***)

ZUSAMMENFASSUNG

583 untrainierte Probanden wurden während kurmedizinischer Studien je zweimal einer stufenweisen Ergometrie unterzogen. Untersucht wurde ein Zusammenhang zwischen Puls, Blutdruck und Blutlaktat sowie den zum jeweiligen Meßtag gehörigen Wetterfaktoren. Der Wettereinfluß machte sich bei Blutdruck und Milchsäure kaum bemerkbar, nur der Belastungspuls reagierte auf Veränderungen der Wetterparameter Luftdruck, Wasserdampfdruck und Lufttemperatur. Bei früheren Untersuchungen wurden ähnliche Tendenzen festgestellt. Die Reaktion der Herzfrequenz weist auf eine Beeinflussung vegetativer Funktionssysteme durch das Wetter hin.

1 EINLEITUNG

Die Schwierigkeit, einen Zusammenhang zwischen Wetter und Gesundheit nachzuweisen, liegt mit Sicherheit größtenteils in der komplexen und nur schwer objektiv zu beurteilenden Beschaffenheit dieser beiden Gebiete. Deshalb wurde in dieser Pilotstudie erstmals versucht, einzelne meteorologische Parameter mit sogenannten „harten“ Meßwerten zur körperlichen Leistungsfähigkeit der Probanden zu korrelieren.

2 METHODIK

583 gesunde, aber untrainierte Probanden (ca. 2/3 Frauen, 1/3 Männer) absolvierten im Abstand von etwa drei bis vier Wochen zwei stufenweise in 25-Wattschritten ansteigende Fahrradergometrie-Untersuchungen. Als Leistungsindikatoren wurden dabei Herzfrequenz, Blutdruck und Milchsäurespiegel gemessen. Ziel war es, diese Leistungsparameter anhand gängiger statistischer Methoden auf ihren Zusammenhang mit der am Meßtag herrschenden Wettersituation zu untersuchen. Die dazu herangezogenen Wetterparameter waren Luftdruck, Lufttemperatur, Taupunkt, relative Feuchte, Sättigungsdampfdruck, Äquivalenttemperatur, Wasserdampfdruck und absolute Feuchte.

3 ERGEBNISSE

Die alters- und geschlechtsabhängigen Leistungswerte bei der ersten Ergometrie der Probanden (Anfangsbedingungen) stimmten mit den in der gängigen Literatur angegebenen Werten überein, womit das Kollektiv als repräsentativ angesehen werden kann. Auch der Einfluß der Jahreszeiten auf die Wetter- und Leistungsparameter wurde untersucht. Die Ergebnisse zeigten jedoch, daß dieser Einfluß vernachlässigbar klein war.

Blutdruck und Blutlaktatwerte blieben von den Einflüssen des Wetters mehr oder weniger unberührt. Im Gegensatz dazu zeigte der Puls bei der maximal erreichten Belastungsstufe eine leichte negative Korrelation (Korrelationskoeffizient $r = -0,3$) mit dem Luftdruck, dem Wasserdampfdruck und auch der Lufttemperatur auf (vgl. Abb. 1, 2 und 3). Eine daraus erarbeitete Regressionsgleichung (vgl. Glg. 1) zwischen obigen Parametern machte jedoch deutlich, daß für den Belastungspuls noch wesentlich mehr Faktoren bestimmend sind. Tabelle 1 dagegen zeigt, daß eine Kombination der Wetterparameter zu Wettergruppen zu einer gegenseitigen Verstärkung bzw. Abschwächung der jeweiligen Einzeleffekte auf den Puls führt.

4 DISKUSSION

Die größtenteils in den 60-er und 70-er Jahren durchgeführten medizinmeteorologischen Befindensstudien (Dirnagl, 1977) zeigten häufig ähnliche Zusammenhänge. Die Veränderung der Herzfrequenz bei Luftdruck- und Wasserdampfdruckschwankungen weist auf einen Einfluß auf die vegetativen Funktionssysteme des Organismus hin. Auch Wasser- und Elektrolythaushalt könnten dabei betroffen sein.

5 SCHLUSSFOLGERUNG

Die in dieser Pilotstudie gefundenen leichten statistischen Korrelationen und die daraus folgenden medizinischen Hypothesen können mit Sicherheit noch keinen kausalen Zusammenhang beweisen. Doch wieder einmal zeigte sich deutlich, daß das Wetter als wichtiger einflußnehmender Faktor nicht vernachlässigt werden darf. Die vorliegenden Tendenzen müssen natürlich in prospektiven Folgestudien noch weiter gefestigt werden.

Herzfrequenzen bei individuell höchster Belastungsstufe während Fahrrad-Ergometrie

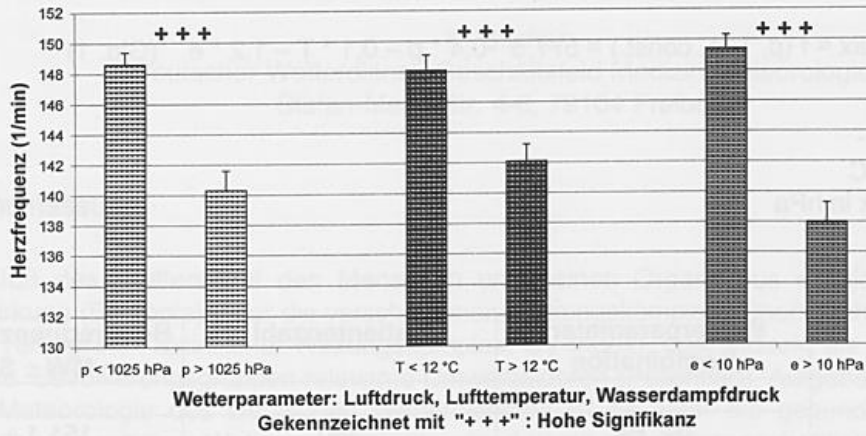


Abb. 1: Vergleich der Puls-Mittelwerte in verschiedenen Wetterparameter-Gruppen

Regression für Luftdruck und Belastungs-Herzfrequenz bei höchster individueller Belastungsstufe während Fahrradergometrie

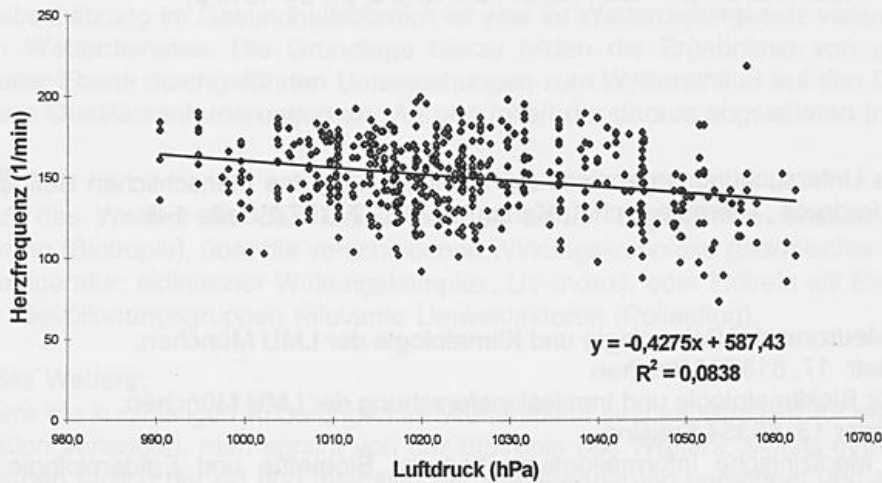


Abb. 2: Regressionsgerade Luftdruck – max. Belastungspuls (R^2 : Bestimmtheitsmaß)

Regression für Wasserdampfdruck und Belastungs-Herzfrequenz bei höchster individueller Belastungsstufe während Fahrradergometrie

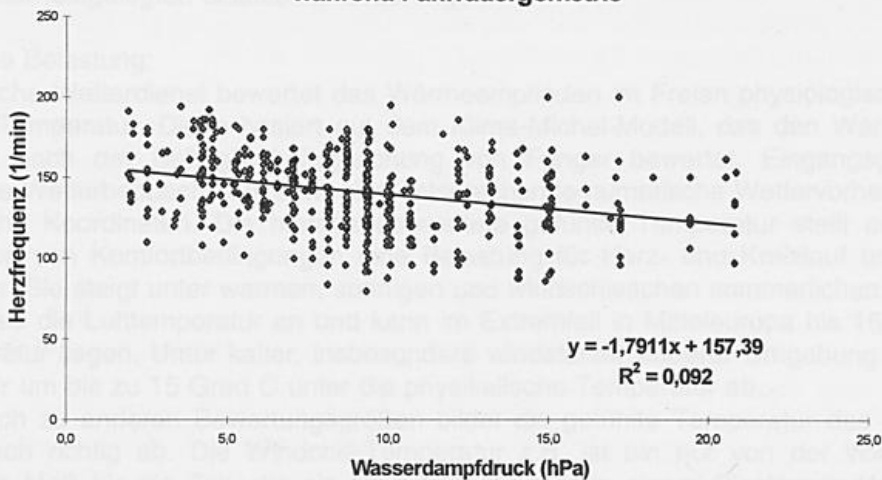


Abb. 3: Regressionsgerade Wasserdampfdruck – max. Belastungspuls (R^2 : Bestimmtheitsmaß)

Multiple Regressionsgleichung zwischen max. Belastungspuls und den Wetterparametern Luftdruck, Wasserdampfdruck und Lufttemperatur:

$$\text{Pulsmax} = f(p, T, e, \text{const.}) = 577,5 - 0,4 * p - 0,1 * T - 1,2 * e \quad (\text{Glg. 1})$$

p: Luftdruck in hPa
 T: Lufttemperatur in °C
 e: Wasserdampfdruck in hPa

Gruppe	Wetterparameter-Kombination	Patientenzahl	Herzfrequenz (1 / min) MW ± SEM
1	p↓, e↓	390	151,1 ± 1,0
2	p↑, e↓	309	145,9 ± 1,4
3	p↓, e↑	251	144,9 ± 1,4
4	p↑, e↑	96	122,2 ± 2,3

Tab.1: Vergleich der Mittelwerte des max. Belastungspulses in den vier Luftdruck-Wasserdampfdruck-Klassen (p↓: p < 1025 hPa; p↑: p > 1025 hPa; e↓: e < 10 hPa; e↑: e > 10 hPa)

LITERATUR

K. Dirnagl: „Neuere Untersuchungsergebnisse zur Beeinflussung des menschlichen Befindens durch das Wetter“ in Sonderdruck „Therapiewoche“, Karlsruhe, Nr. 27, 1977, Seite 1-8.

- (*): Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie der LMU München; Marchioninstr. 17, 81377 München
- (**): Lehrstuhl für Bioklimatologie und Immissionsforschung der LMU München; Am Hochanger 13, 85354 Freising
- (***): Institut für Medizinische Informationsverarbeitung, Biometrie und Epidemiologie der LMU München; Marchioninstr. 15, 81377 München

BIOPROGS- DIE ZEITKRITISCHEN MEDIZIN-METEOROLOGISCHEN PRODUKTE IM DWD

K. Bucher

Deutscher Wetterdienst, Geschäftsfeld Medizin-Meteorologie,
Stefan-Meier-Str. 4-6, 79104 Freiburg

Zusammenfassung

Der Einfluß des Wetters auf den Menschen und seinen Organismus existiert direkt über seine Akkordwirkung (Biotropie), über die verschiedenen Wirkungskomplexe (thermischer Wirkungskomplex, gefühlte Temperatur; aktinischer Wirkungskomplex, UV-Index), oder indirekt als Einflußgröße auf für bestimmte Bevölkerungsgruppen relevante Umweltfaktoren (Pollenflug). Aufgabe des Geschäftsfeldes Medizin-Meteorologie des Deutschen Wetterdienstes ist es, über die gesundheitlichen Risiken in Zusammenhang mit dem Wetter zu informieren und damit eine wissenschaftlich fundierte Grundlage z.B. für Institutionen aus dem Gesundheitsbereich zur Einleitung bestimmter Vorsorgemaßnahmen zu erstellen.

1 Einleitung

Die Analyse des Wetters unter gesundheitsrelevanten Aspekten und eine entsprechende Vorhersage zur Risikoabschätzung im Gesundheitsbereich ist eine im Wetterdienstgesetz verankerte Aufgabe des Deutschen Wetterdienstes. Die Grundlage hierzu bilden die Ergebnisse von auf nationaler und internationaler Ebene durchgeführten Untersuchungen zum Wiedereinfluß auf den Organismus, sowie vorgegebene Qualitätsanforderungen an Art und Inhalt der daraus abgeleiteten Informationen.

2 Methodik

Der Einfluß des Wetters auf den Menschen und seinen Organismus existiert direkt über seine Akkordwirkung (Biotropie), über die verschiedenen Wirkungskomplexe (thermischer Wirkungskomplex, gefühlte Temperatur; aktinischer Wirkungskomplex, UV-Index), oder indirekt als Einflußgröße auf für bestimmte Bevölkerungsgruppen relevante Umweltfaktoren (Pollenflug).

Biotropie des Wetters:

Insbesondere die kurzfristigen Änderungen im Wetterablauf sind ein Stressor für den Organismus, da sie Adaptation verlangen; man spricht von der Biotropie des Wetters. Mittels eines biosynoptischen Modells werden täglich die Art und Intensität der Wetteränderung berechnet und entsprechend ihrer Wirkung klassifiziert. Die Berechnung läuft auf der Basis des Deutschen Numerischen Vorhersagemodells, Gitterpunktabstand etwa 15 km, und ergibt den prozentualen Anteil der mit einer bestimmten Wetterklasse belegten Gitterpunkten pro Beratungsbereich. Die in den hierauf basierenden Informationstexten aufgeführten Befindens- und Beschwerdearten entsprechen den durch die hessische Ärztekammer festgelegten Qualitätsanforderungen.

Thermische Belastung:

Der Deutsche Wetterdienst bewertet das Wärmeempfinden im Freien physiologisch gerecht mit der gefühlten Temperatur. Diese basiert auf dem Klima-Michel-Modell, das den Wärmehaushalt eines Menschen nach der Behaglichkeitsgleichung von Fanger bewertet. Eingangsgrößen sind eine vollständige Wetterbeobachtung, bzw. eine entsprechende numerische Wettervorhersage, Datum und geografische Koordinaten. Die hieraus abgeleitete gefühlte Temperatur stellt entsprechend ihrer Abweichung von Komfortbedingungen eine Belastung für Herz- und Kreislauf und die peripheren Gefäße dar. Sie steigt unter warmen, sonnigen und windschwachen sommerlichen Bedingungen viel schneller als die Lufttemperatur an und kann im Extremfall in Mitteleuropa bis 15 Grad C über der Lufttemperatur liegen. Unter kalter, insbesondere windstarker äußerer Umgebung sinkt die gefühlte Temperatur um bis zu 15 Grad C unter die physikalische Temperatur ab.

Im Vergleich zu anderen Bewertungsgrößen bildet die gefühlte Temperatur das Wärmeempfinden physiologisch richtig ab. Die Windchill-Temperatur z.B. ist ein nur von der Windgeschwindigkeit abhängiges Maß für die Zeit, die ein Viertelliter Wasser in einem Plastikzylinder benötigt, um zu gefrieren; Sonne oder gar Anpassung der Bekleidung werden dabei nicht einbezogen. Die gefühlte

Temperatur kann nach der VDI-Richtlinie 3787 Blatt 2 in eine physiologisch gerechte Bewertung umgesetzt werden.

Berechnet wird die gefühlte Temperatur täglich für alle Synopstationen, und zwar für den 12-Uhr-Termin des aktuellen Tages, den 6-Uhr-Termin des Folgetages und den 12-Uhr-Termin des Folgetages. Zur Zeit wird ein Verfahren entwickelt, mit dem auf der Basis des Deutschen Lokalen Modelles LM des DWD, mit Gitterpunktabstand 7 km, für jeden Gitterpunkt die gefühlte Temperatur berechnet werden und damit die Möglichkeit der flächenhaften Darstellung gegeben werden kann.

UV-Index:

Der solare UV-Index ist international durch WHO, WMO, UNEP und ICNIRP standardisiert. Er ist ein einfach verständliches Maß für die Stärke der sonnenbrandwirksamen UV-Strahlung und wird als Tagesmaximum angegeben. Die Wirkung auf die Haut ist definiert über die spektrale Wirkungsfunktion für das Erythem (Sonnenbrand) der Internationalen Beleuchtungskommission, CIE (1987), und ist damit unabhängig vom Hauttyp und dem Grad der individuellen Pigmentierung und der Dicke der Hornschicht.

Grundlage für die Vorhersage des UV-Indexes ist eine Prognose des Gesamtzons für 48 Stunden auf der Basis der Ozon-Messungen von TOVS (ca. 12 UTC) und der analysierten und vorhergesagten Verteilung der Temperatur in den Schichten 50, 100, 200, 500 und 700 hPa. Mit einem Strahlungstransfermodell wird über dem Gebiet des Deutschlandmodells des Deutschen Wetterdienstes unter Berücksichtigung der Reflexion von (Alt- oder Neu-) Schnee, Höhenkorrekturen sowie der Vorhersagen des Bedeckungsgrades in drei Stockwerken der UV-Index für die Gitterpunkte des Deutschlandmodells berechnet. Die Aufbereitung der feldmäßig vorliegenden Vorhersagen des UV-Index erfolgt anhand der Vorgaben der Strahlenschutzkommission.

Eine Verminderung des Gesamtzons führt bei wolkenfreiem Himmel zu einer Erhöhung des UV-Index gegenüber dem langjährigen Mittel. Insbesondere in den Frühjahrsmonaten und im Juni treten interdiurn häufiger Änderungen des Gesamtzongehalts von mehr als 15%. Bei dieser Abschwächung und einem vorhergesagten UV-Index ab 4 wird der Einfluß des Gesamtzons auf die sonnenbrandwirksame UV-Strahlung als signifikant gewertet und in den Informationen des Deutschen Wetterdienstes hingewiesen. Dies ist insbesondere auch deshalb wichtig, weil in den Frühjahrsmonaten die Haut noch nicht vorgebräunt und deshalb besonders empfindlich ist.

Pollenflug-Vorhersage:

Mehr als 10% der Bevölkerung sind Pollenallergiker und die Tendenz ist zunehmend. Der Deutsche Wetterdienst erstellt in Zusammenarbeit mit der "Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst" Vorhersagen des Fluges allergologisch wirksamer Blütenpollen. Diese Vorhersage ist sinnvoll, da der Blühbeginn der Pflanzen in Mitteleuropa witterungsbedingt bis zu 6 Wochen schwachen kann. Zudem hängt die Konzentration der freigesetzten Pollen ganz entscheidend vom aktuellen Wetter ab. Die gezielte Prophylaxe für Allergiker kann deshalb durch täglich aktualisierte Pollenflug-Vorhersagen erheblich verbessert werden.

Grundlagen der Vorhersagen sind die regionalen kurz- und mittelfristigen Wettervorhersagen des Deutschen Wetterdienstes, die von der "Stiftung Deutscher Polleninformationsdienst" in verschiedenen Kliniken sowie auch beim Deutschen Wetterdienst in Freiburg gemessenen und ausgewerteten Pollenkonzentrationen, sowie die aktuellen phänologischen Daten des Deutschen Wetterdienstes, die im Rahmen der agrarmeteorologischen Datenerfassung gewonnen werden.

Literatur

Bucher, K., 1993: Ein Verfahren zur objektiven Klassifikation des Wetters unter biosynoptischen Gesichtspunkten. Berichte des Deutschen Wetterdienstes, 183, 138.

Jendritzky, G., Bucher, K., 1992: Medical-meteorological fundamentals and their utilization in Germany, Proceedings of Weather and Health Workshop, 1992, Ottawa, 42-59.

Staiger, H., Schubert, U., Vogel, G., 1996: Solarer UV-Index-Definition, Einflußgrößen, Verteilung, Vorhersage im Deutschen Wetterdienst und strahlenhygienische Ziele. Annalen der Meteorologie, 33, Deutscher Wetterdienst, 126-132.

IMPLEMENTATION OF HEAT WATCH/WARNING SYSTEM IN EUROPE

Tanja Cegnar

Hydrometeorological Institute of Slovenia, Vojkova 1 b, SI-1000 Ljubljana, Slovenia

Laurence S. Kalkstein

Center for Climatic Research, University of Delaware, Newark, DE 19716-USA

1 ABSTRACT

Extremes of temperature can cause physiological disturbance and organ damage, leading to illness or death. The onset of heat exhaustion or heat stroke is the most direct impact of heat stress on the human body, but an increase in mortality that is associated with hot weather occurs via a number of mechanisms. The extent of heat-related mortality varies according to geographical zones. Mortality data for many cities in temperate regions, where hot weather is severe but infrequent, show sharp rise in total mortality during unusually hot weather conditions. Duration of heat stress is also a critical determinant of thermoregulatory failure. People living in hot regions cope with excessive heat through adaptations in lifestyle, physiological acclimatization and adoption of a particular mental approach. The WMO, WHO, and UNEP have agreed to collaborate on a project to develop and implement heat watch/warning systems for vulnerable cities in the developed and developing world, and several meetings have already been held to establish a protocol. The goal for the show case project would be to develop extreme weather watch/warning systems for three selected cities, which permit local health officials to more efficiently implement mitigation actions. On the basis of results from such studies, guidelines should be developed and disseminated on how Meteorological Services could improve their services to the various relevant decision making instances in the society. Dr. Kalkstein at the University of Delaware already developed such systems for Philadelphia and Washington, DC and the systems are in operational use (Kalkstein et. al., 1999). The system is based on the predicted arrival of "offensive air masses" historically associated with elevated mortality levels. Time-series analyses have been used to analyse daily weather characteristics in relation to daily mortality, and applied widely to establish associations between these variables. However, hospital admission and morbidity data could provide more detailed picture about the impacts on human health. The Italian watch/warning system will reflect Rome's unique climate conditions, and how the population has historically responded to different hot-weather events. Health officials will have up to 60 hours' advance warning of such deadly weather. The system will save lives by identifying and then forecasting the specific type of oppressive air mass known to kill large numbers of people in Rome. Health authorities will then be able to reach out to children, senior citizens, anyone in poor health and those in high-risk neighbourhoods, where heat-trapping homes make people more vulnerable to very hot weather conditions. The Italian heat watch/warning system it is funded by an initial \$50,000 grant from the United Nations Environment Programme. We expect the system to be installed in Rome by summer 2000.

2 SHOWCASE PROJECTS: THE GOALS AND METHODS

IACCA (Inter-Agency Committee on the Climate Agenda) strongly endorsed the proposal to establish a WMO/WHO/UNEP Inter-Agency Network on Climate and Human Health (WMO, 1998). It was recognized that a major issue was the securing of support for maintaining and co-ordinating such a network and it was agreed that this was an opportune time for submission of a major project focusing on the impact of climate on human health.

There is considerable interest in the development of heat/health watch-warning systems for vulnerable cities in the developed and developing world. The WMO, WHO, and UNEP have agreed to collaborate on a project to develop and implement such systems as part of the Showcase Projects, and several meetings have already been held to establish protocol (WMO, 1997, WMO, 1998). The goal for these Showcase Projects would be the development of heat/health weather watch-warning systems for several selected cities, which permit local health officials to more efficiently implement mitigation actions. In addition, guidelines would be developed for the local meteorological agencies to improve their services to the various decision-making arms of the local government, such as the media, the local department of public health, the local utility company, and many others.

The development of these systems would follow general guidelines proposed at the meeting of a group of WMO officials and health rapporteurs, a representative from UNEP, and representatives from WHO in Freiburg (WMO, 1997) and confirmed in Geneva (WMO, 1998). There would be three

major aspects to the projects: (i) research and development, (ii) technology transfer and (iii) local operation.

Criteria for selection of cities for Showcase Studies on "Warning Systems for Heat Waves and possibly other Extreme Weather Events" are several, but the most important is climate. Only cities with the occurrence of irregular, intense heat waves and possibly other weather extremes will be taken into account. For the development of the system it is necessary that six hourly data are available and accessible free of charge (total cloud cover, air temperature, dew point temperature, wind speed, wind direction, air pressure), and technical predictability facilities are required (minimum 24 hours/preferably 48 hours or more). To develop the algorithms a large sample size of deaths is necessary, so only cities with population over one million should be considered. Mortality data and population statistics over a minimum 10 years are required. One important aspect of development is that the locality participating in the project would have significant input in the development of the system, to make certain that it is tailored perfectly for local needs. Based on these criteria the first city selected for system development was Rome, Italy, and the first organizational meeting between the WMO, WHO, Rome's Lazio Health Authority, the Italian Meteorological Service, and UNEP took place in early February, 1999.

An agreed-upon format of system development was arrived at, and the system is presently being developed by Professor Laurence S. Kalkstein, WMO Rapporteur on climate and human health, at the Center for Climatic Research, University of Delaware, USA and Ms. Tanja Cegnar, Hydrometeorological Institute of Slovenia and WMO Rapporteur on climate and human health. The system should be operational by summer, 2000 for the Millennium Celebration of Rome. Costs for system development will be borne by UNEP, which has generously agreed to fund the project.

3 STEPS IN ROME'S SYSTEM DEVELOPMENT

The development of the Rome's heat/health watch-warning system will follow these procedures:

- Data acquisition: acquire the proper data to develop the weather/mortality relationships. These data include six-hourly meteorological data for a minimum of 10 years and daily total mortality data for a minimum of 10 years.
- Predictability: the development of weather/mortality algorithms. This will be done by first, identifying the daily air masses for Rome and noting which air masses are associated with elevated mortality. No doubt one or two air masses ("offensive" air masses) will be identified as being associated with significantly higher than baseline daily mortality. Then, an evaluation of mortality variation within offensive air masses will be developed, which will lead to algorithms to estimate daily mortality based on daily variations in air mass type and other factors. The system permits prediction of heat-related mortality up to 60 hours in advance, permitting health officials to plan mitigating procedures.
- Applicability: the formulation of the system best-suited for local needs, coordination between the local health agencies and meteorological officials, and "terms of reference".
- Implementation: training of local individuals who will operate the system, software development, testing, and operational mode.
- Mitigation measures: the development of the proper measures to lessen mortality once a warning for elevated mortality has been issued by the local health agency and/or meteorological service.

The following is a step-by-step plan for system development:

- The system will be developed at the University of Delaware, and there will be a testing period before the institution of the system. Several system designs will be considered, including those using an air mass-based method and/or apparent temperature.
- Mortality and meteorological data necessary to develop the system will be provided to the University of Delaware by 1 June 1999.
- Forecast meteorological data for Rome will also be necessary to estimate conditions 60 hours in advance, allowing for the issuance of warnings. These data will be provided by the Italian Meteorological Service.
- There will be a retrospective evaluation of the developed system, to make certain that it is identifying dangerous weather with relative accuracy.
- There will be a plan to check the effectiveness of the system once it is operational to make certain that the system is saving lives and providing a useful purpose.

- A representative from the Philadelphia Department of Public Health will participate in the development of proper mitigation actions once a heat warning is issued. The Philadelphia representative will play only an advisory role.
- In Rome, the system will be run by the local health agency (Lazio Health Authority), while in Philadelphia and Washington it is run by the local National Weather Service office.

The system will commence to run in testing mode on 15 May 2000, this will continue for 45 days and on 1 July 2000 the system will start to run in full operational mode with initial intervention plans in place. An evaluation of system effectiveness will also begin.

4 MITIGATION MEASURES

The Italian watch/warning system will reflect Rome's unique climate conditions, and how the population has historically responded to different hot-weather events. Health officials will have up to 60 hours' advance warning of such deadly weather. The system will save lives by identifying and then forecasting the specific type of oppressive air mass known to kill large numbers of people in Rome. Health authorities will then be able to reach out to children, senior citizens, anyone in poor health and those in high-risk neighbourhoods, where heat-trapping homes make people more vulnerable to very hot weather conditions.

There are plenty of possibilities to mitigate the impact of heat wave, but all of them should be tailored to the Rome's particular needs. Based on the experience gained in Philadelphia the mitigation measures could possibly include the following intervention activities:

- Media announcements. The media provide information on how to avoid heat-related illnesses during oppressive weather.
- Promotion of the "buddy" system. Media announcements encourage friends, relatives, neighbours, and other volunteers to make daily visits to elderly persons during hot weather. The "buddies" make sure that the most susceptible individuals have sufficient fluids, proper ventilation, and other amenities to cope with a heat wave.
- Activation of "Heatline". Heatline provide information and counselling to the general public on avoidance from heat stress.
- Home visits. Department of Health field teams make home visits to persons requiring more attention than can be provided over the hotline.
- Nursing- and personal care boardinghome interventions. When a warning is issued, the department of Public Health contacts these facilities to inform them of a high-risk heat situation, and offer advice on the protection of residents.
- Halt of utility service suspensions. The local electric company and water department halt service suspensions during warning periods.
- Increased medical emergency staffing. The Emergency Medical Service increase staffing in anticipation of increased services demand.
- Daytime outreach to the homeless. The agency for homeless services activates intensive daytime outreach activities to assist the homeless on the street.
- Air-conditioned service facility capability.

5 REFERENCES

- Kalkstein, L.S., P.F. Jamason, J.S. Greene, J. Libby and L. Robinson, 1996. The Philadelphia Hot Weather-Health Watch/Warning System: Development and Application, Summer 1995. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(7):1519-1518.
- Kalkstein, L.S., S.C. Sheridan, J.K. Glover and A.J. Kalkstein, 1999. An Evaluation of the Variability of Air Mass Character Between Urban and Rural Areas. Briefing to Dr. Jonathan Samet, Dept. of Epidemiology, Johns Hopkins University, January 7, 1999.
- WMO, 1997. Report of Meeting of Experts on Climate and Human Health in Freiburg, Germany, January 1997. WMO/TD-No. 822 (WCASP-42), WMO, Geneva, Switzerland, 50 pp.
- WMO, 1998. Report of Meeting of Experts on Climate and Human Health (CHH) in Geneva, Switzerland, December 1997. WCASP.98, WMO, Geneva Switzerland.

KLASSIFIKATION ATMOSPHERISCHER FAKTOREN MIT BIOTROPER WIRKUNG NACH ART DER REZEPTION IM ORGANISMUS

Wolf H. Weihe, Ganghoferstr. 6, 83098 Brannenburg

ZUSAMMENFASSUNG

Die Faktoren der Atmosphäre werden nach ihrer Bedeutung für den Organismus in biotrope und abiotrope zu Kategorien getrennt. Reize biotroper Faktoren führen zu spezifischen adaptiven Reaktionen, Reize abiotroper Faktoren aktivieren unspezifische Resistenz. Abiotrope Faktoren von minderer Stärke relativ zur Empfindlichkeit des Organismus bleiben als Reiz stumm.

EINLEITUNG

In der Biometeorologie wird ausgehend von der Atmosphärenphysik und Meteorologie oder von der Humanmedizin versucht, die physikalischen und chemischen Faktoren der Atmosphäre nach ihrer biologischen Wirkung zu klassifizieren. Jede Seite stützt sich ab auf die Zustände und Veränderungen in dem ihr vertrauten System. Da stellt sich die Frage: von welcher Seite läßt sich die Wirkungsbeziehung zwischen Atmosphäre und Mensch mit größter Gewißheit aufklären, und welche Methoden zum Nachweis der Wirkungsbeziehung kommen der Realität am nächsten? Bei ungleichem fachlichen Verständnis steigt das Risiko, die Wirkungsbeziehungen zwischen Mensch und Atmosphäre mißzuverstehen.

VORAUSSETZUNGEN

Atmosphäre und Mensch stehen sich als geordnete, in sich begrenzte Systeme gegenüber. Beide sind Teilsysteme im übergeordneten System Umwelt. Die Wechselbeziehungen zwischen den beiden Systemen werden durch Faktoren bestimmt. Von den Faktoren der Atmosphäre wird vorausgesetzt, daß sie als Reiz auf den Organismus wirken und an Reaktionen erkennbar werden, die darauf eintreten. Komplexizität und Variabilität der Faktoren und Reaktionen der Systeme sind verschieden: die Variabilität der Faktoren der Atmosphäre ist bei der Ausdehnung nach Höhe und Weite einschichtig verteilt, die Variabilität der Reaktionen des Menschen ist mehrschichtig verteilt über genotypisch, phänotypisch, entwicklungs- und altersbestimmte autonom physiologische und affektiv-mentale Stufen.

VORGEHEN

Die Wirkungsbeziehung kann nach meteorologischer Definition der Faktoren vom System Atmosphäre (a) ausgehen und dafür Reaktionen im System Mensch (b) suchen oder vom System Organismus (b) nach humanmedizinischer Definition der Reaktionen die für die Wirkung ursächlichen Faktoren der Atmosphäre (a) differenzieren. Die Beziehung wird damit erklärt, daß ein meteorologische Faktor a als Reiz wirkt, der im menschlichen Organismus b eine Reaktion auslöst. Im Falle des Vorgehen von a nach b wird die Atmosphäre herangezogen, um Reaktionen des Menschen zu prüfen, im Falle des Vorgehen von b nach a werden die Reaktionen des Menschen herangezogen, um Gegebenheiten und Veränderungen in der Atmosphäre zu prüfen. In beiden Fällen dient der Mensch als Meßinstrument. Entsprechend der Differenzierung der untersuchten Reaktionen und dem Grad der Auflösung reagiert er auf Reizwirkungen qualitativ und quantitativ mit einer generellen oder einer unübersehbaren Anzahl untereinander vernetzter einzelner Meßstellen zusammen. Differenzierung, Auswahl und Interpretation der Reaktionen folgt dem Verständnis und der Einsicht in Physiologie, Pathologie und Psychologie des Menschen als Einheit.

METHODIK

Zur Analyse der in die Wechselbeziehungen Atmosphäre-Mensch eingeschalteten Faktoren werden je nach Konzeption induktive oder deduktive Methoden angewendet. Bei monokausaler Konzeption, nach der einzelne Faktoren absolute Reizstärke haben, werden induktive Methoden bevorzugt: Unter standardisierten Bedingungen werden als Reiz im Laboratorium einzelne oder wenige Faktoren (Temperatur, Feuchtigkeit) eingesetzt und in Modelluntersuchungen schrittweise die komplexeren wirklichen Bedingungen einbezogen. Bei plurikausaler Konzeption, nach der einzelne Faktoren stets in Gemeinschaft mit anderen untereinander relative Reizstärken aufweisen, werden nach deduktiven Methoden ausgehend von real gegebenen komplexen Bedingungen (Klimaklassifikationen) Faktoren ausgegliedert und gewichtet.

BIOTROPE UND METEOROTROPE FAKTOREN

Die Biometeorologie ist an den Faktoren mit biologischer Wirkung praktisch interessiert. Die Wirkung eines Faktors im Organismus tritt entweder in Form einer primären Reaktion mit Einleitung von adaptiven Modifikationen der Funktionen auf oder in Form einer primären Schädigung, zu der sekundär reparative adaptive Reaktionen eintreten. Danach lassen sich biotrope von abiotropen Faktoren unterscheiden.

Biotropie betrifft als allgemeines Phänomen die Abhängigkeiten der Lebewesen von den Faktoren der Atmosphäre oder Umwelt im ökologischen Kontext, die eine Wirkung zur Erhaltung der Funktionen des Leben haben, Meteorotropie bezieht sich auf die von den physikalischen Faktoren von Wetter und Klima ausgehende Wirkung auf die Funktionen des Organismus. Biotrope Faktoren sind in der gesamten Umwelt anzutreffen, meteorotrope Faktoren sind die biotropen Faktoren der atmosphärische Umwelt. Die Begriffe sind nicht scharf differenziert und je nach ihrer historischen Entwicklung mit Vorurteilen und Wertungen belastet. Die Bedeutung von Biotropie ist wertneutral, die von Meteorotropie enthält die Erwartung, Veränderungen von Wetter und Klima würden sich auf Zustand und Befinden des Menschen nachteilig auswirken. Biotropie tritt in der Natur in spezifischen Entwicklungsformen auf. Beim Selektionsprozeß im Verlauf der Evolution haben sich für jede lebende Art streng speziesspezifische Kombinationen der biotropen Beziehungen entwickelt und ausgeformt. Neben Gemeinsamkeiten wie Sauerstoffatmung für Tier und Mensch gibt es im Einzelnen Unterschiede der biotropen Beziehungen wie Homeothermie bei Säugern und Heterothermie bei Reptilien. Für die biotropen Faktoren sind durch Rezeptoren Perzeptionsbereiche festgelegt. Als Vermittler sind die Rezeptoren in Schlüsselposition, nur einen limitierten Anteil von den gesamten in Atmosphäre und Umwelt gegebenen Faktoren für den Organismus zu erschließen oder von ihm abzuhalten. Durch die im menschliche Organismus angelegten Rezeptoren werden aus der universalen Fülle biotroper Faktoren humanspezifisch biotrope Faktoren herausgefiltert. Über die artspezifischen Rezeptoren wird auch die Wahrnehmung der im Ganzen der Umwelt gegebenen Faktoren auf einen Ausschnitt eingeeengt, der zum Bild der spezifischen "Humanwelt" führt. Jede Art lebt entsprechend den sich während ihrer Evolution gebildeten Anlagen in einer spezifisch eigenen für sie typischen Wirklichkeitswelt.

Nach ihrer Bedeutung für den Organismus und der Art der Reaktion werden biotrope von abiotropen Faktoren unterschieden. Die meteorotropen biotropen Faktoren der Atmosphäre erregen die im Körper angelegten Rezeptoren, von denen die Erregung nerval fortgeleitet und zentral verarbeitet wird. Aus der Integration der übermittelten Reize an zentralen Stellen im ZNS gehen die Reaktionen hervor. Sie sind adaptiv innerhalb spezifischer Variationsbreiten durch Modifikation der abhängigen Funktionen. Aus der Vernetzung untereinander ergeben sich die Adaptationskapazitäten der Körpersubsysteme; sie reichen von Teilen der Zellen über die Organe und Organsysteme bis zum ganzen Organismus. Abiotrop sind die Faktoren, die als Reiz wirken, ohne daß dafür spezifische Rezeptoren angelegt sind. Der Organismus reagiert darauf primär mit unspezifisch komplexem nicht-adaptiven Widerstand. Die Stärke des Widerstandes hängt von der individuellen Resistenzkapazität ab. Durch Anstoßen und Herausforderung der Resistenz - der Mechanismus ist bestens bekannt als Streß - wird primär der Organismus unspezifisch allgemein erregt und als

interne Reaktion darauf stellen sich sekundär adaptive Reaktionen ein. Nach Anlage von Rezeptoren und Art der Reaktion bilden die biotropen und die abiotropen Faktoren Kategorien. Die biotropen Faktoren lösen als über spezifisch perzipierte Reize adaptive Reaktionen aus, die abiotropen Faktoren aktivieren als unspezifisch perzipierte Reize Resistenz. In der Regel bleiben abiotrope Faktoren als Reize stumm, erst mit zunehmender Stärke führen sie zu allgemeiner Erregung und Aktivierung der Resistenz. Dazu gehören Regen, Wind, Sturm, Gewitter, Blitz, Frost, Schnee, Eis, geladene Partikel (Ionen), elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder, atmosphärische Impulsstrahlung, kosmische Strahlung.

EINTEILUNG DER FAKTOREN NACH REZEPTOREN

Unter Bezug auf das Vorhandensein von Rezeptoren und über die von ihnen abhängigen Funktionen läßt sich die Kategorie der biotropen Faktoren in 3 Gruppen ordnen.

A. - Rezeptoren der vitalen Funktionen zum Energie-, Wärme-, Gas-, Druck- und Wasseraustausch. Faktoren, die darauf einwirken, sind: Wärmestrahlung, Sauerstoff, O₂, CO₂, Luftdruck, Wasserdampf.

B. - Rezeptoren der Sinnesorgane für Sehen, Hören, Fühlen, Riechen, Tasten, Schmecken und Körperstellung. Die Wahrnehmungsbereiche sind artspezifisch.

C. - Rezeptoren der Schutzfunktionen: Melanozyten, Langerhans'sche Zellen, Provitamin D-Rezeptoren (UVA). Die resultierenden Gruppen sind: (A) Faktoren zur Kopplung an die Atmosphäre, (B) Faktoren zur Orientierung in der Umwelt, und (C) Faktoren zur Aktivierung von Schutz- und Bedarfsfunktionen. Die Einteilung nach der Biotropie geht aus der Physiologie hervor; sie unterscheidet zwischen biotropen physiologischen Faktoren und abiotropen schädigend-toxischen Faktoren.

EINTEILUNG DER FAKTOREN NACH REAKTIONEN

Die historische Klassifikation geht vom Allgemeinzustand des Organismus aus. Ohne sich auf Faktoren festzulegen wird die Anpassungskapazität der Körpersysteme mit Bezug auf die Variabilität aller Reaktionen des Organismus unterteilt in die drei qualitativ definierten Empfindlichkeitsstufen wetterreagierend, wetterfühlend und wetterempfindlich. Sie dienen als Vorlage zur Einteilung und Bewertung der Wirkung komplexer meteorologischer Ereignissen wie Wetter, die danach deduktiv aufgeschlüsselt werden. Das "Meßinstrument" Mensch wird auf drei Empfindlichkeitsstufen wirksamer Reize kalibriert, ohne zwischen biotropen und abiotropen Faktoren zu unterscheiden. Unter Berufung auf diese Klassifikation sind manche falsche Hypothesen entstanden, die sich hartnäckig halten. Eine Klassifikation der Faktoren aus meteorologisch synoptischer Sicht faßt gekoppelt auftretende Faktoren über integrierte Reaktionen zu Wirkungskreisen zusammen. Beispiele sind: a) der thermische und b) der photoaktinische Wirkungskomplex

FOLGERUNG

Biometeorologisch orientierte Bewertungen von Faktoren sind didaktisch einseitig auf die Beziehung zwischen Mensch und Atmosphäre eingengt. Diese Einengung hat etwas Künstliches, ist irreführend und verfälschend, weil der Organismus über die Sinnesrezeptoren der gesamten Umwelt gleichzeitig ausgesetzt ist. In der realen Welt außerhalb des standardisierten Laboratoriums lassen sich die meteorotropen Faktoren nicht aus der Bindung an die vielen anderen biotropen Faktoren der Umwelt herauslösen. Im Leben werden stets viele Rezeptororgane gleichzeitig erregt. Daher haben biotrope und abiotrope Faktoren stets eine relative kausale Wirkung. Bei außergewöhnlicher herausragender Stärke kann auch ein biotroper Faktor absolut kausal schädigend wirken.

DIE BEDEUTUNG DER HUMAN-BIOMETEOROLOGIE FÜR DIE UMWELTMEDIZIN

P. Höppe

Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität,
Ziemssenstr. 1, 80336 München (P.Hoeppe@lrz.uni-muenchen.de)

ZUSAMMENFASSUNG

Die Umweltmedizin befaßt sich definitionsgemäß mit der medizinischen Versorgung von Patienten mit gesundheitlichen Problemen, deren Ursachen jene selbst oder deren Ärzte mit Umweltfaktoren in Verbindung bringen. Wetter und Klima sind solche potentiellen Umweltfaktoren. Sekundär beeinflussen sie die lufthygiensiche Situation. Direkte Wettereffekte auf physiologische Prozesse sind z.B. thermische Reize, die auch das Niveau von thermischen Beanspruchungen erreichen können, Reizempfindungen durch Wind und Sonnenstrahlung und möglicherweise auch Symptome, die durch elektromagnetische Phänomene ausgelöst sein können. Indirekt beeinflusst das Wetter die Konzentrationen von luftgetragenen Schadstoffen. In einigen Fällen (z.B. Ozon) ist die Bildung von Schadstoffen direkt an bestimmte Wetterbedingungen gebunden. Wetter und Klima können auch einen signifikanten Einfluß auf die Inzidenz von Infektionskrankheiten haben. Auch für die Symptomatik der sog. "Wetterfühligkeit" gibt es eindeutige Belege einer Assoziation mit bestimmten Wetterlagen, wenn auch die ursächlichen Faktoren bis heute noch nicht wissenschaftlich abgesichert sind. Die meisten wetterassoziierten Symptome sind unspezifisch, was auch für die häufigsten Beschwerden in umweltmedizinischen Praxen zutrifft. Deshalb sollte bei der umweltmedizinischen Diagnostik auch immer an die vielfältigen meteorologischen Einflußfaktoren gedacht werden.

EINLEITUNG

Dem Wetter wurde schon in der Antike ein Einfluß auf den menschlichen Organismus und die Gesundheit zugeschrieben. Im Gilgamesch-Epos werden die sieben bösen Winde als Dämonen beschrieben, die Krankheiten und Fieber erregen. Hippokrates warnte in seinem 400 v.Chr. geschriebenen Buch "Luft, Wasser und Orte" Ärzte vor Komplikationen bei Operationen an Tagen mit Wetterumschwüngen. Der Begriff "Wetterfühligkeit" taucht erstmals in einem Gesetzestext aus dem 9. Jahrhundert (Lex Frisorum) auf, in dem das Zufügen einer Wunde, die eine wetterempfindliche Narbe hinterläßt, härter bestraft wird.

In der modernen Medizin ist es vor allem die Umweltmedizin, die sich mit Einflüssen der Umwelt auf den menschlichen Organismus und dessen Gesundheit beschäftigt. In der Weiterbildungsordnung für die Ärzte Bayerns z.B. wird Umweltmedizin definiert als: "Die Umweltmedizin umfaßt die medizinische Betreuung von Einzelpersonen mit gesundheitlichen Beschwerden oder auffälligen Befunden, die von ihnen selbst oder ärztlicherseits mit Umweltfaktoren in Verbindung gebracht werden". Eine Vielzahl solcher Umweltfaktoren liefern Wetter und Klima.

WIRKUNGSWEGE VON WETTER UND KLIMA

Zum einen sind Wetter und Klima selbst Umweltfaktoren. Durch unterschiedliche Temperaturen z.B. erfährt der Körper thermische Reize, die in extremen Situationen starke thermische Beanspruchungen zur Folge haben können. Ähnliche Reizwirkungen können durch Wind und Sonnenstrahlung hervorgerufen werden. Indirekt beeinflusst das Wetter auch die Belastungssituation durch eine Vielzahl sowohl von anthropogenen Schadstoffen als auch biogenen Allergenen, indem deren Ausbreitung in der Atmosphäre, aber auch in manchen Fällen deren Freisetzung (z.B. Pollen) oder Entstehung (z.B. Photoxidantien wie Ozon) vom Wetter abhängen.

In einer Vielzahl von epidemiologischen Studien konnte gezeigt werden, daß Wetterlagen mit extremer Hitze oder Kälte zu einem Anstieg der Morbidität und Mortalität führen. Das Wetter ist daher häufig auch ein bedeutender Confounder für umweltepidemiologische Studien, in denen z.B. die Wirkung von Luftschadstoffen auf die Morbidität und Mortalität untersucht wird. Ganz offensichtlich ist der thermische Einfluss auf die Mortalität in thermisch belastenden Klimazonen während ausgeprägter Hitzeperioden wie z.B. von Kalkstein (1993) in Shanghai nachgewiesen. Hier ergab sich ein steiler Anstieg der Mortalität auf mehr als das Zweifache des normalen Wertes, sobald das Maximum der Lufttemperatur 35°C überstieg. Ein Großteil dieser Erhöhung der Sterblichkeit ist sicher auf ein Vorziehen des Sterbetermins von bereits sehr schwerkranken Patienten um einige Stunden oder Tage zu erklären. Die Daten von Kalkstein (1993) zeigten jedoch auch in einigen Fällen, dass die einem solchen Hitzeereignis folgende geringere Mortalität den

Überhang während der Hitzeperiode nicht vollständig kompensiert, d.h. nicht alle zusätzlichen Todesfälle durch den sog. "Harvesting Effect" zu erklären sind. Aber auch in gemäßigten Klimazonen wie z.B. in Deutschland gibt es signifikante Korrelationen zwischen den thermischen Witterungsbedingungen und Mortalitätszahlen. So zeigte z.B. Bucher (1992) anhand der Mortalitätsstatistik von Baden-Württemberg (1968-1992), dass nicht nur zu warme Verhältnisse, sondern sogar noch ausgeprägter zu kalte Tage im Winter im speziellen mit einer erhöhten Mortalitätsrate assoziiert sind. Die Analyse ergibt um bis zu 18% höhere Mortalitätsraten bei thermisch extremen Wetterlagen - und dies im "gemäßigten Klima" von Deutschland.

Für den Wärmehaushalt des Menschen sind neben der Lufttemperatur auch die Luftfeuchte, Strahlung und die Luftgeschwindigkeit von Bedeutung. Die Werte dieser Parameter hängen im Freien stark von der Jahreszeit und dem jeweiligen Wetter ab. Die Wirkung der Kombination aus diesen thermischen Parametern kann über Wärmehaushaltsmodelle des menschlichen Körpers modelliert werden, die nicht nur Behaglichkeitsindizes liefern, sondern auch Prognosen von thermophysiologicalen Parametern wie Körpertemperaturen (Haut- und Kerntemperatur), Schweißrate und Hautbenetzungsgrad. Auf der Basis dieser Parameter kann die thermische Beanspruchung des Körpers quantitativ bewertet werden. In der Abbildung 1 sind dazu die Ergebnisse einer Modellrechnung mit MEMI für einen gehenden, mit Sommerkleidung bekleideten, jungen Mann an einem heißen Sommertag dargestellt. Wegen der erhöhten Körpertemperaturen (Hauttemperatur 35,9°C, Kerntemperatur 37,4°C) und des großen Gesamtwasserverlustes (457 g/h) ist hier z.B. von einer mäßigen thermischen Beanspruchung auszugehen.

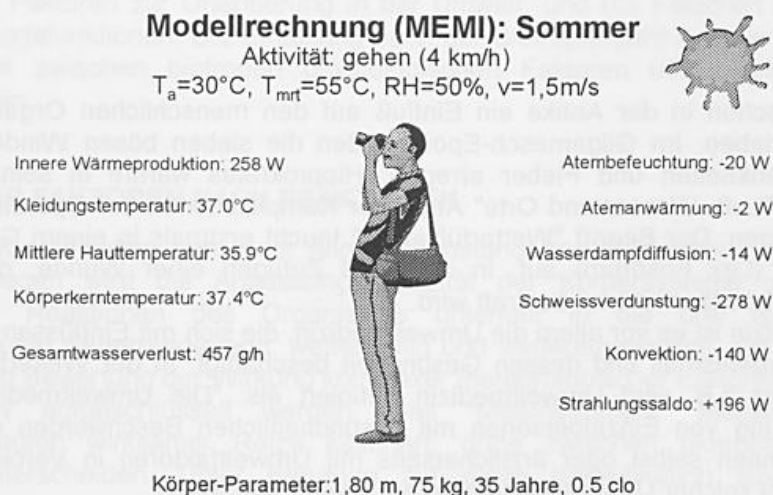


Abb. 1: Wärmebilanzmodellierung mit MEMI (Münchener Energiebilanz-Modell für Individuen, Höppe(1993)) für einen heißen Sommertag.

Die thermischen Umgebungsbedingungen haben nachweislich auch einen erheblichen Einfluß auf die Schlafqualität und können somit über diesen Wirkungsweg auch gesundheitsrelevant sein.

Zu den wetterabhängigen Erkrankungen sind ätiologisch eindeutig zuzuordnende Erscheinungen wie z.B. Hitzekollaps, Hitzschlag, Erfrierungen, Erytheme, Sonnenstich und feuchteabhängige Hauterkrankungen zu rechnen, die vor allem bei extremen Wetterlagen mit großer Hitze bzw. Kälte, sehr intensiver Sonnenstrahlung oder sehr trockener Luft auftreten können. Daneben gibt es jedoch noch eine Reihe weitere Erkrankungen, die zwar mit Wettererscheinungen korrelieren, deren kausale Beziehungen zu einzelnen Wetterparametern jedoch weitaus schwieriger und zum Teil bis heute nur unbefriedigend nachgewiesen sind. Dazu sind z.B. grippale Infekte und akute Atemwegserkrankungen zu zählen (Tromp, 1977). Hierbei spielen neben der Beeinflussung der verursachenden Noxen (z.B. Virulenz der Grippeviren, Höhe von Schadstoffkonzentrationen) auch die durch das Wetter modifizierte Suszeptivität (Empfänglichkeit) der Menschen (z.B. Immunstatus) eine Rolle.

Bis heute noch weitgehend ungeklärt sind kausale Beziehungen zwischen physikalischen Wetterparametern und der Inzidenz von Syndromen wie "Wetterfühligkeit" und "Wetterempfindlichkeit". Unter "Wetterempfindlichkeit" versteht man die wetterbezogene Exazerbation von Symptomen

chronischer Krankheiten wie chronischer Polyarthrit und anderen entzündlichen Gewebsveränderungen sowie Schmerzen an Operationsnarben und Amputationsstümpfen. Ca. 10% der Bevölkerung leiden unter "Wetterempfindlichkeit". Die "Wetterfähigkeit" dagegen beschreibt wetterbezogene Einflüsse, die man eher unter dem Begriff der unspezifischen Befindlichkeitsstörungen subsumieren kann, mit Symptomen wie Abgeschlagenheit, Gereiztheit, Kopfschmerzen, Unwohlsein oder Schwindel. Etwa 50% der Bevölkerung rechnen sich zu den "Wetterfähigen".

Wenn auch die verursachenden Faktoren bis heute nicht bekannt sind, so bestehen statistisch signifikante Beziehungen zwischen einzelnen Wetterlagen und der Inzidenz einer Vielzahl von Symptomen. Bis heute ist es daher nur möglich, Korrelationen zwischen einzelnen Wetterklassen und der Häufigkeit von Krankheits-Symptomen herzustellen. Ein Wetterklassen-Schema, das auch nach objektiven Kriterien klassifizierbar ist, wurde in den 80er Jahren vom Deutschen Wetterdienst (Bucher, 1993) erarbeitet. Nach Jendritzky (1993) liegen die typischen Varianzerklärungen von Erkrankungszahlen durch die Wetterlage zwischen 5% und 25%, für die eher unspezifischen subjektiven Beschwerden teilweise über 50%. Sehr deutlich ist, daß vor allem die Wetterklassen 3 bis 7 (Rückseite eines Hochs, Vorderseite einer Warmfront, Rückseite einer Warmfront, Zentrum eines Tiefs, Rückseite einer Kaltfront) sich vielfältig negativ auf das Befinden auswirken können, während die Wetterklassen 1, 2 und 11 (Vorderseite sowie zentrale Bereiche von Hochdruckgebieten) überwiegend positive Wirkung haben. Die Kenntnis dieser Zusammenhänge kann in der umweltmedizinischen Praxis eine wichtige Hilfe zur Bewertung von unspezifischen Beschwerdebildern sein.

Das Wetter beeinflusst in entscheidender Weise die Ausbreitung und Entstehung von luftgetragenen Schadstoffen und damit die Luftqualität. Während im Winter vor allem die stabilen Inversionswetterlagen (häufig mit Nebelbildung) zu einer Anreicherung von Schadstoffen führen können, ist im Sommer an Schönwettertagen die Bildung von Photooxidantien von Bedeutung. Neben den anthropogenen Luftschadstoffen werden aber auch die Konzentrationen von biogenen Luftbeimengungen wie z.B. Pollen oder Schimmelpilzsporen durch das Wetter beeinflusst. Durch Wetterperioden mit niedriger Luftfeuchte (vor allem im Winter) können Hausstaubmilben abgetötet werden. Die Symptommhäufigkeit von Allergikern kann folglich sehr eng mit dem Wetter zusammenhängen.

Drastisch angestiegene Inzidenzen von Hautkrebs haben in vielen Ländern zu einem bewußteren Umgang mit UV-Strahlung beigetragen. Wenn auch für die Anstiege eher ein verändertes Freizeitverhalten als der unter dem Begriff "Ozonloch" diskutierte Ozonabbau in der Stratosphäre verantwortlich gemacht werden kann, so spielt hier das Wetter auch eine wichtige Rolle. Neben dem offensichtlichen Einfluß der Jahres- und Tageszeit sowie der Bewölkung auf die Intensität der UV-Strahlung können kurzzeitige natürliche Schwankungen der Ozonschichtdicke (Zeitskala wie das Wetter) die UV-Intensität erheblich verändern (Seckmeyer et al., 1997). Dem daraus entstehenden Informationsbedarf wird seit einiger Zeit mit der Veröffentlichung eines international eingeführten UV-Index Rechnung getragen.

SCHLUSSBEMERKUNG

Das Wetter beeinflusst in vielfacher Weise den menschlichen Organismus und das Auftreten von Befindlichkeitsstörungen bis hin zu manifesten Erkrankungen. Da ein großer Teil der mit dem Wetter korrelierenden Symptome wie auch jene in der umweltmedizinischen Praxis unspezifischer Art sind, ist es für den Umweltmediziner von großer Bedeutung, auch das Wetter als Agens in Betracht zu ziehen. Das Wetter ist daher ein wichtiger Faktor in der Umweltmedizin.

LITERATUR

- BUCHER, K. (1992): Die Bedeutung des thermischen Wirkungskomplexes im Wirkungsakkord des Wetters am Beispiel von Todesfällen im Herz-Kreislaufbereich. *Ann. Met.*, 28, Offenbach, 121-124.
- BUCHER, K. (1993): Ein Verfahren zur objektiven Klassifikation des Wetters unter biosynoptischen Gesichtspunkten. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, 183, Offenbach am Main.
- HÖPPE, P., 1993. Heat balance modelling. *Experientia*, 9, 49: 741-746.
- JENDRITZKY, G. (1993): Wirkungen von Wetter und Klima auf die Gesundheit des Menschen. In: *Handbuch der Umweltmedizin* (Hrsg. Wichmann, Schlipköter, Fülgraff), Ecomed, Landsberg.
- KALKSTEIN, L.S., 1993. Health and climate change - direct impacts in cities. *THE LANCET* 342, 1397-1399.
- SECKMEYER, G.; MAYER, B.; BERNHARD, G.; ERB, R.; ALBOLD, A.J.; STOCKWELL, W.R. (1997): New maximum UV irradiance levels observed in central Europe. *Atmospheric Environment*, 31, 18, 2971-2976.
- TROMP, S.W. (1977): Influence of weather and climate on infectious diseases in man. In: *Progress in Biometeorology*, Ed. S.W. Tromp, Division A, Vol. 1 II, Swets and Zeitlinger, Amsterdam, 61-70.

ROUNDTABLE-GESPRÄCH "BIOMETEOROLOGISCHE INFORMATIONEN IN DEN MEDIEN" AM 21.4.1999

In einer Sitzung des Fachausschusses BIOMET der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft im Anschluß an die 3. Fachtagung BIOMET im Dezember 1996 in München wurde angeregt, ein Diskussionsforum über biometeorologische Angebote in den Medien zu organisieren. Anlass war die vor allem in den letzten Jahren rasch zunehmende Informationsvielfalt in diesem Bereich, die z.T. für den Verbraucher sehr verwirrend ist - manchmal werden auch Dinge verbreitet, die nicht dem Stand der biometeorologischen Forschung entsprechen. Die Gesprächsrunde wurde im Anschluß an die 4. Fachtagung BIOMET vom Institut für Arbeits- und Umweltmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität in München organisiert und fand in dessen Institutsräumen statt. Das Roundtable-Gespräch "Biometeorologische Hinweise in den Medien" am 21. April sollte zu einer Klärung der in diesem Bereich bestehenden Probleme beitragen. Ziel der Gesprächsrunde war letztlich der Versuch einer Abstimmung von biometeorologischen Informationen (Kenngrößen) unter den Anbietern. Dies soll zu einem wesentlich besseren Verständnis der biometeorologischen Informationen für den Verbraucher und damit aber auch zu einer größeren Akzeptanz führen.

Teilnehmer am Roundtable-Gespräch waren Vertreter vieler bedeutender Anbieter von Wetterinformationen im deutschsprachigen Raum (Bayerischer Rundfunk, Bundesamt für Strahlenschutz, Deutscher Wetterdienst, Litton-WSI Europa, MC-Wetter GmbH, More and More Communication, WNI/Meteo Consult, Zentralanstalt für Meteorologie u. Geodynamik (Wien), ZDF Wetterredaktion) und eine Vertreterin des Hydrometeorological Institute of Slovenia.

Im Einzelnen wurden folgende Themenbereiche diskutiert:

- Biowetter - Wetterfähigkeitsinformationen
- UV-Index
- Empfundene Temperatur
- Heat Watch/Warning
- Pollenmeldungen
- Ozonmeldungen
- Reisewetter

Das Gespräch führte zu folgenden Ergebnissen:

In grafischen Darstellungen von biometeorologischen Kenngrößen sollte die Farbgebung vereinheitlicht werden (z.B. Belastungen immer mit rot). Die Gesprächsrunde warnt vor einem möglichen Qualitätsverlust der biometeorologischen Informationen durch immer geringere Bereitschaft für hochwertige Leistungen zu bezahlen.

Biowetter - Wetterfähigkeitsinformationen

Die Gesprächsteilnehmer erachten eine Information der Bevölkerung über die zu erwartenden Wetterfähigkeits-symptome als sinnvoll. Basis dazu soll das 13-Wetter-Klassenschema des Deutschen Wetterdienstes (Bucher) sein. Es sollen jedoch nur erhöhte Wahrscheinlichkeiten von Symptomen aufgeführt werden, die vom Verbraucher auch beeinflussbar sind (z.B. Kopfschmerzen, Blutdruckveränderungen) und auch in relevant großer Häufigkeit auftreten. Immer sollen auch die positiven Eigenschaften einer speziellen Wetterlage genannt werden. Verhaltensregeln sollen diese Informationen abrunden.

UV-Index

Der UV-Index ist weltweit einheitlich eingeführt und dient dem gesunden Umgang mit der Sonne - und damit der Gesundheitsvorsorge. Die privaten Anbieter fordern kostenlosen Zugang zu den entsprechenden Daten. Sie sollen ihn vor allem im Sommerhalbjahr häufig benutzen (Tag zu Tag Variationen durch Mini-Ozonlöcher, Gewöhnung an die Skalierung) und in regelmäßigen Abständen auch Informationen zum Aussagegehalt und den Verhaltenskonsequenzen geben. Wünschenswert ist auch die Möglichkeit nicht nur Prognosen für die nächsten Tage, sondern auch die aktuell gemessenen UV-Werte zu erhalten.

Polleninformationen

Es besteht großer Bedarf an Polleninformationen, da ca. 15% der Bevölkerung (Tendenz zunehmend) an "Heuschnupfen" (Pollenallergien) leiden. Ein Problem ist die Verfügbarkeit der Daten für private Anbieter. Diese Informationen sollten auch auf Urlaubsgebiete in Nachbarländern erweitert werden. Das Meßnetz müßte erweitert werden. Man sollte sich jedoch auf allergierelevante Pollenarten beschränken (Hasel, Erle, Birke, Gräser, Roggen und Beifuß).

Ozon-Meldungen

Ozoninformationen sollten an Tagen mit erhöhten Ozonwerten (ab 180 µg/m³) gegeben werden. Es sollte empfohlen werden, dass auf Ozon empfindlich reagierende Personen (z.B. Kinder) körperliche Anstrengungen im Freien vermeiden sollten.

Wärme- und Kältebelastung

Um eine bessere Charakterisierung der thermischen Bedingungen in Bezug auf den Menschen machen zu können, sollen neben der Lufttemperatur auch die "Gefühlte Temperatur" oder "Physiologisch Äquivalente Temperatur" (berücksichtigen den Wärmehaushalt des Menschen) benutzt werden, vor allem dann, wenn sie sich erheblich von der Lufttemperatur unterscheiden (starker Wind, hohe Sonneneinstrahlung). Alte Indizes wie Windchill-Faktoren entsprechen nicht dem Stand der Wissenschaft und sollten daher nicht mehr benutzt werden.

Reisewetter

Die Teilnehmer der Gesprächsrunde regen an, die biometeorologischen Informationen auch im Rahmen von Reisewetterberichten für die Hauptreiseziele verfügbar zu machen. Hier sind vor allem die UV-Informationen und Verhaltensempfehlungen für beliebte Fernreiseziele gemeint.

Im nächsten Jahr soll diese Gesprächsrunde fortgesetzt werden. Interessenten daran können sich bei PD Dr. Höpfe (P.Hoeppe@lrz.uni-muenchen.de) vormerken lassen.

P. Höpfe
München