

Zeitschrift: Regio Basiliensis : Basler Zeitschrift für Geographie

Herausgeber: Geographisch-Ethnologische Gesellschaft Basel ; Geographisches Institut der Universität Basel

Band: 33 (1992)

Heft: 2

Artikel: Das REKLIP-Energiebilanzmessnetz : Aufbau, Ausstattung, Test und erste Ergebnisse des Basler REKLIP-Messnetzes

Autor: Vogt, Roland / Reber, Stephan

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1088743>

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 15.01.2026

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

Das REKLIP-Energiebilanzmessnetz

Aufbau, Ausstattung, Test und erste Ergebnisse des Basler REKLIP-Messnetzes

Roland Vogt und Stephan Reber

Zusammenfassung

Seit Ende 1989 ist die Abteilung für Meteorologie und Klimaökologie des Geographischen Instituts der Universität Basel (GIB/AMK) damit beschäftigt, im Rahmen des Regio-Klima-Projektes REKLIP im Dreiländereck ein Messnetz mit sechs Energiebilanzmessstationen aufzubauen. Seit Mitte des vergangenen Jahres sind die meisten Stationen in Betrieb und liefern umfangreiches Datenmaterial. Im folgenden Artikel stehen die vielfältigen und aufwendigen Vorbereitungsarbeiten, die zum sinnvollen Betrieb nötig sind, im Zentrum der Ausführungen. Der Überblick wird durch einige aktuelle Auswertungen ergänzt.

1 Einleitung

Das Regio-Klima-Projekt (REKLIP) wird von der lokalen Öffentlichkeit mit grossem Interesse verfolgt. Ziel ist die Untersuchung der klimabestimmenden Vorgänge und die Verteilung der Klimazustandsgrössen im mittleren und südlichen Oberrheingraben sowie im unteren Hochrheintal zwischen den Gebirgszügen Jura, Vogesen und Schwarzwald. Damit wird angestrebt, die menschlichen Aktivitäten als Ursache für die schlechende Veränderung des regionalen Klimas und teilweise die damit parallel verlaufenden Änderungen der Luftqualität sicherer beurteilen zu können.

Die Ergebnisse des Projektes sollen sich einerseits auf modernste verfügbare Beobachtungsmethoden (Messnetze, Satellitendaten) und andererseits auf hochentwickelte, numerische Modellsimulationen stützen. Sie sollen auf politischen und unterschiedlichen Verwaltungsebenen als Grundlage zur Sicherung der Lebensqualität dienen.

Adresse der Autoren: Roland Vogt und Stephan Reber, Geographisches Institut der Universität Basel, Abteilung Meteorologie/Klimaökologie (GIB/AMK), Spalenring 145, CH-4055 Basel

Das weckt Erwartungen, besonders in Anbetracht der lufthygienischen (Ozon-)Probleme der Region oder allgemein in Anbetracht der Umwelt- und Klimadiskussion. Es scheint uns deshalb wichtig, an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass REKLIP kein Lufthygieneprojekt ist. Obwohl REKLIP v.a. zur Meso- und Mikrometeorologie der Regio neue Erkenntnisse liefern wird, sind auch Ergebnisse zu erwarten, die direkt für Bereiche wie Raumplanung und Lufthygiene relevant sind. Darüber hinaus wird mikrometeorologische Grundlagenforschung betrieben.

2 Das REKLIP-Messnetz

Um die oben genannten Ziele zu erreichen, wurden im Untersuchungsgebiet 36 Energiebilanzstationen eingerichtet. Je sechs Stationen betreiben im nördlichen Teil das Institut für Meteorologie und Klimaforschung der Universität Karlsruhe sowie die Abteilung Meteorologie des Kernforschungszentrums Karlsruhe. Im mittleren Teil sind das Meteorologische Institut und das Institut für Physische Geographie, beide Universität Freiburg, für drei bzw. fünf Stationen verantwortlich. Auf französischem Gebiet kümmert sich die Météo France um zehn Stationen. Wir vom GIB/AMK betreiben im Raum Basel sechs Stationen. Einrichtungs- und Testphase für das Messnetz war das Jahr 1991. In den zwei darauf folgenden Jahren soll es funktionieren.

Im weiteren Verlauf dieses Beitrags werden die REKLIP-Energiebilanzstationen Basler Prägung vorgestellt.

3 Die Energiebilanzstation

3.1 Die Energiebilanz

Mit den Stationen soll am Standort die Energiebilanz erfasst werden. Diese kann, horizontale Homogenität vorausgesetzt, mit

$$R_n = LE + H + G$$

beschrieben werden. Die verschiedenen Energieflussdichten bedeuten:

R_n = Strahlungsbilanz

LE = Verdunstung

H = fühlbarer Wärmestrom

G = Bodenwärmestrom

L = Verdampfungswärme von Wasser

R_n und G werden direkt gemessen, LE und H werden indirekt über die gemessenen Feuchte- und Temperaturgradienten bestimmt (Bowen-Ratio-Methode).

3.2 Die Standortauswahl

Eine methodische Anforderung an eine Station ist die bereits erwähnte horizontale Homogenität, d.h. ebenes Umfeld und keine allzu grossen Änderungen von Rauigkeit und Vegetation im Bereich von 100 m um die Station. Angestrebt wird auch eine Repräsentativität für ein weiteres Umfeld. Der Abstand von grösseren Rauigkeitselementen sollte mindestens zehn mal deren Höhe betragen.

Die praktischen Anforderungen wie Netzanschluss, Erreichbarkeit und die Erlaubnis des Landwirts führten zu Kompromisslösungen. Da die Stationen mitten in den Feldern stehen, stellt die Erhaltung der Frucht bis an den Mast ein Problem dar. Außerdem führt der Fruchtwechsel und die Verschiebung von Feldgrenzen dazu, dass die Rauigkeit um eine Station über mehrere Vegetationsperioden hinweg nicht konstant ist. Ein Fruchtwechsel kann auch konkrete "bauliche" Massnahmen an einem Standort nach sich ziehen. So ist beispielsweise an drei Stationen für 1992 Mais als Frucht vorgesehen, was zur Folge hat, dass der 2 m über Grund installierte Strahlungsausleger in ca. 3 m Höhe neu montiert werden muss.

Da diese unausweichlichen Veränderungen am und um den Messstandort die Messwerte wesentlich beeinflussen können, ist es von grosser Bedeutung, sie genau festzuhalten, um sie bei der Datenaufbereitung und -interpretation angemessen berücksichtigen zu können.

In Tab. 1 sind einige wichtige Merkmale der sechs Basler REKLIP Stationsstandorte zusammengestellt. Die genauere Lage der Stationen ist Abb. 1 zu entnehmen.

Tab. 1 Die REKLIP-Stationen des GIB/AMK

Station	m.ü.M.	Nutzung	Daten seit	Messniveaus	Energieversorgung
Lange Erlen	225	Wiese	Okt. 90	3	Netz
Observatorium	320	Acker	März 91	5	Netz
Gempen	710	Acker	März 91	3	solar
Fischingen (D)	264	Acker	Juni 91	5	Netz
Gupf (D)	360	Brache	Juni 91	3	Netz
Muespach (F)	450	Acker	Dez. 91	3	solar

3.3 Instrumentierung und Mast

Die Messhöhen 2 und 10 m waren fixe Vorgaben des Projektes. Die Messung von Temperatur und Feuchte sollte mit Psychrometern geschehen. Um die wöchentliche Wartung an den Psychrometern vornehmen zu können, werden teleskopierbare Aluminiummäste eingesetzt, deren oberste Geräte im heruntergekurbelten Zustand mit einer Leiter zugänglich sind (Abb. 2).

An vier Stationen haben wir aus Redundanzgründen ein weiteres Niveau mit einem Psychrometer bestückt und zwei zusätzliche Höhen mit Anemometern eingerichtet. An zwei sogenannten Forschungsstationen werden Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeit in fünf Höhen erfasst. Dank dieser Anordnung können weitere mikrometeorologische Messungen durchgeführt werden: Bestimmung der Windprofilparameter, Berechnung der Verdunstung mit der aerodynamischen Methode.

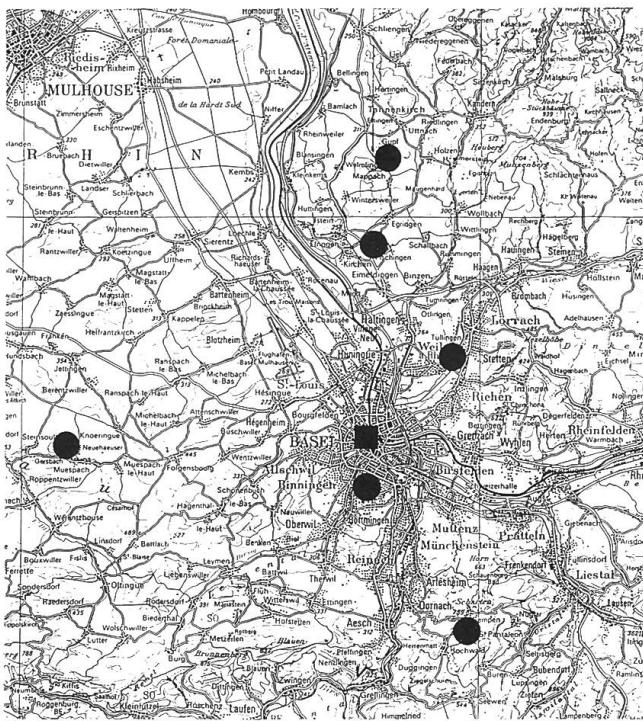


Abb. 1 Lage der REKLIP-Stationen des GIB/AMK.

Die Messgrößen werden als 10-Minuten Mittelwerte abgelegt. Bei der Windgeschwindigkeit wird zusätzlich die Standardabweichung und das grösste gleitende Mittel über drei Sekunden registriert. Die mittlere Windrichtung wird durch Komponentenzerlegung bestimmt. An jedem Standort wird wöchentlich an einer festeingebauten Sonde die Dielektrizitätszahl des Bodens und damit die Bodenfeuchte gemessen (TDR-Methode). Eine Übersicht der gemessenen Parameter und der verwendeten Geräte gibt Tab. 2.

Tab. 2 Übersicht über die an den REKLIP-Stationen des GIB/AMK eingesetzten Instrumente.

Parameter	Instrument	Hersteller/Typ	Messhöhen [m]	Abtastrate
Lufttemperatur Luftfeuchtigkeit	Psychrometer nach Frankenberger; Pt 100	WLD-Feimechanik/FK	2, (3), 5, (7.5), 10	10 s
Windrichtung	Windfahne	Vaisala/WAV15	10	1 s
Windgeschwindigkeit	Schalenkreuzanemometer	Vaisala/WAA15	2, (3), 5, 7.5, 10	1 s
Globalstrahlung	Pyranometer	Kipp & Zonen/CM11	2	10 s
Reflexstrahlung	Pyranometer	Kipp & Zonen/CM11	2	10 s
Strahlungsbilanz Gehäusetemperatur	Pyrradiometer, beide Halbräume; Pt 100	Schenk/Mod. 8111	2	10 s
Lufttemperatur	Thermistor	YSI/ in HMP35A	2	10 s
Luftfeuchtigkeit	Polymer/Humicap	Vaisala/HMP35A	2	10 s
Bodenwärmestrom	heat flux plate	McVan/CN3	3 mal -0.05	10 s
Bodentemperatur	Thermistor	YSI	-0.02, -0.1	10 s
Bodenfeuchte	TDR	Tektronix/1502B	0 bis -0.5	1 x pro Woche
Niederschlag	Hellmann-Wippe	Ketterer	1.5	Summe 10 min

3.4 Die Messwerterfassung

Als Datenlogger verwenden wir den Modulog (Elsys AG, CH-Niederrohrdorf). Der Messbereich von 2V kann in 40'000 Schritte aufgelöst werden (> 14 bit). Drei Verstärkungsmöglichkeiten für das Eingangssignal (1, 10, 100) stehen zur Verfügung.

Eine Besonderheit vom Modulog ist die Möglichkeit Pt100-Widerstände in 4-Leiterschaltung mit Konstantstromanregung zu messen. Dadurch wird im Feld eine Präzision der Widerstandsmessung von umgerechnet besser als 0.02°C erreicht.

Die Daten werden auf Memorykarten (SRAM, 256 kByte) abgespeichert und wöchentlich via Laptop oder durch Austausch der Memorykarten gesammelt. Die skalierten Messwerte können online tabellarisch auf dem Laptop dargestellt werden. Dies ist ein wichtiges Mittel zur ersten Kontrolle der Station bereits im Feld. Die Uhren der Logger werden mit einer Funkuhr regelmässig synchronisiert. Es müssen Korrekturen im Sekundenbereich vorgenommen werden.

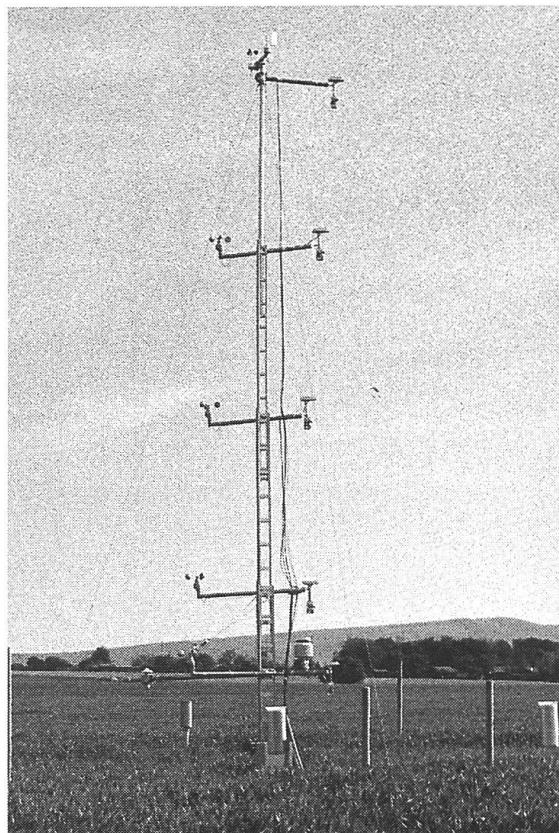


Abb. 2 Die REKLIP-Station Observatorium.

4 Kalibrierarbeiten, Sensor tests

Regelmässige Vergleichsmessungen, Sensor tests und, soweit möglich, eigene Kalibrierarbeiten sind unerlässlich für das sinnvolle Betreiben eines Messnetzes von Energiebilanzstationen. Dies zu Beginn, während und am Ende der Aktivitäten.

4.1 Strahlungsbilanz

Die Messung der verfügbaren Energie erfolgt mit Pyrradiometern. Ein geschwärztes Aluminiumplättchen absorbiert, geschützt von einer Polyäthylenhaube und in Abhängigkeit von deren Durchlässigkeit, Strahlung im Bereich von 0.3 bis $60\text{ }\mu\text{m}$. Mit einer Thermosäule wird die Erwärmung (oder nachts die Abkühlung) bezüglich des Gehäuses gemessen. Das Signal (ca. $30\mu\text{V}/(\text{Wm}^{-2})$) kann mit einem vom Hersteller gelieferten Faktor in Wm^{-2} umgerechnet werden. Die Differenz vom oberen zum unteren Sensor ergibt direkt die Strahlungsbilanz.

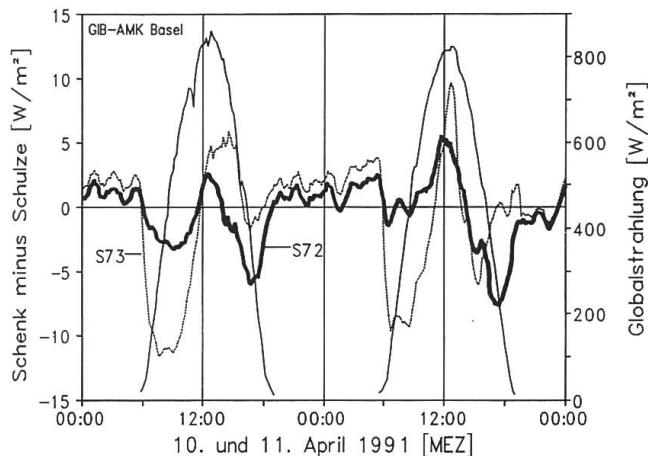


Abb. 3 Verlauf der Residuen der Strahlungsbilanz von zwei Schenkpyrradiometern und der Globalstrahlung an zwei Tagen.

Bei Pyrradiometern gibt es mangels geeigneter Kalibrierverfahren noch keinen Standard. Auch die Probleme bei den Sensoren tragen dazu bei: die durch Alterung sich ändernde Transmissivität der Hauben, deren unterschiedliche Durchlässigkeit im kurz- und im langwelligen Bereich, der Kosinus-Fehler (vom Sonnenstand abhängige Einflüsse) und der konvektive Wärmeverlust des Sensors, um die wichtigsten zu nennen.

Das Schenk-Gerät ist unbelüftet. Es ergeben sich daher Beeinträchtigungen durch Niederschlag, Reif und Taufall. Die Abtrocknungsphase kann sich leider je nach Strahlungs- und Windverhältnissen bis in den späten Morgen hineinziehen, so dass grössere Zeiträume mit erheblichen Fehlern behaftet sind. Die Installation einer Ventilation oder regelmässige morgendliche Kontrolle (besser beides) würden für Abhilfe sorgen.

Vergleichsmessungen ergaben, dass bei acht Schenk-Pyrradiometern die gemessenen Strahlungsbilanzen im Bereich von 10-20 % nach oben korrigiert werden müssen (die Werte mit Taufall wurden entfernt). Am Institut durchgeföhrte Schattenkalibrierungen bestätigen diese Ergebnisse.

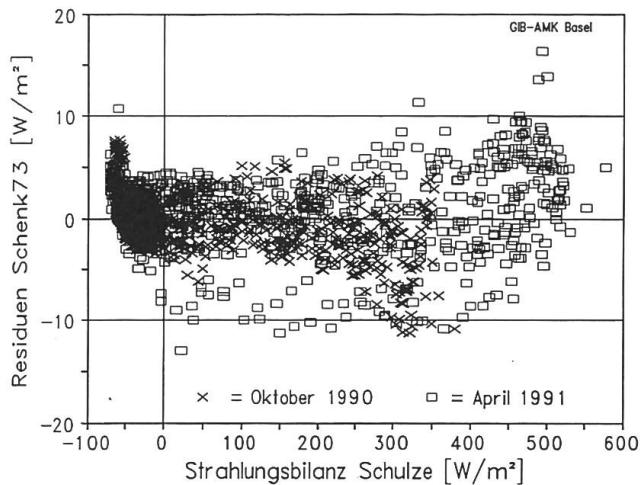
In Abb. 3 ist der Tagesverlauf der Differenzen von zwei korrigierten Schenks minus Schulze zu sehen. Letzteren verwenden wir als Referenz. Korrigiert heisst, dass die Schenkwerte mittels linearer Regression an die Schulze-Werte angepasst wurden.

Die Residuen streuen nicht um Null, sondern haben einen vom Sonnenstand abhängigen Verlauf. Hier spiegeln sich hauptsächlich Nivellierprobleme und die unterschiedlichen Kosinus-Fehler der beiden Gerätetypen wider.

Der Unterschied zwischen einer um 0.5 Grad nach Osten geneigten Empfängerfläche zu einer horizontalen würde im Tagesverlauf ähnlich aussehen. Bei den Vergleichsmessungen im Oktober 1990 deutet der Verlauf der Residuen auf eine kleine Nivellierdifferenz in Richtung Westen hin (nicht abgebildet). Der symmetrische Anteil von Nivellierfehlern in N-S-Richtung fällt bei der linearen Regression weg und trägt mit 5 bis 10 Wm^{-2} noch zur Unsicherheit der Messungen bei. Die Justierungen der Fühler wurden täglich mit den eingebauten Dosenlibellen geprüft. Die Luftblasen waren immer innerhalb des Kreises. Insofern waren wir überrascht, dass trotzdem Nivellierfehler einen derart hohen Beitrag zu den Differenzen Schenk-Schulze lieferten. Messungen mit einer Dosenlibelle auf einer Sensoroberfläche haben Unterschiede zu der Gerätelibelle ergeben. Es ist notwendig, auch die Nivellierung der Pyrradiometer zu überprüfen.

In Abb. 4 sind die Differenzen zwischen der Strahlungsbilanz gemessen mit einem korrigierten Schenk zu der mit einem Schulze-Gerät gemessenen für beide Messperioden gezeichnet. Sie liegen innerhalb $\pm 15 \text{ Wm}^{-2}$.

Abb. 4
y-Achse: Residuen der Strahlungsbilanz von der Regression Schenk-Schulze.
x-Achse: Strahlungsbilanz gemessen mit Schulze-Gerät.
10min-Werte aus beiden Vergleichsmessungen ohne Taufall.

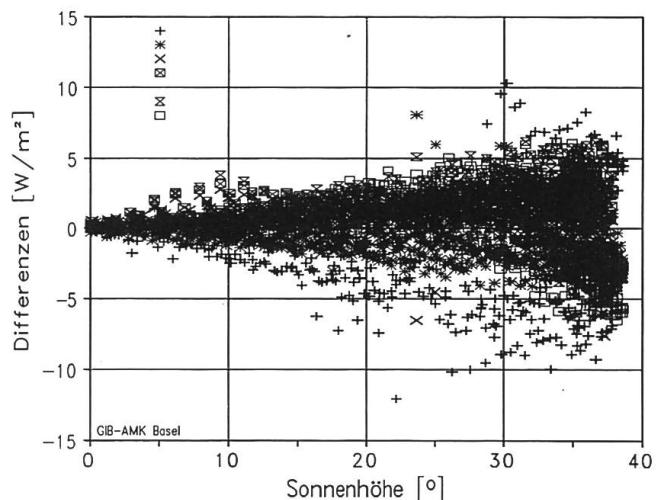


Mit etwas Optimismus kann dies als der Bereich der Vergleichbarkeit der verschiedenen Geräte bezeichnet werden. Dies ist keine absolute Genauigkeit und kann je nach Tageszeit bis zu 20 % Unsicherheit in der Strahlungsbilanz bedeuten. Würden die Regressionen für Tag- und Nachtwerte durchgeführt, so liessen sich speziell für die Nachtwerte bessere Übereinstimmungen erzielen ($\pm 2 \text{ Wm}^{-2}$). Die Vergleichsmessungen haben gezeigt, dass die Überprüfung der Herstellerangaben unerlässlich ist.

4.2 Global- und Reflexstrahlung

Das Messgerät für den kurzweligen Anteil (0.3 - 3 μm) der Strahlung ist weniger problematisch. Das CM11 ist nach der WMO-Klassifizierung ein 'secondary standard', d.h. bestimmte Eigenschaften des Pyranometers werden garantiert. Trotzdem haben wir zu Testzwecken zwölf Geräte für mehrere Tage nebeneinander betrieben. Als Referenz haben wir den Mittelwert aus den zwölf Einzelmessungen genommen. Wie aus der Abb. 5 zu ersehen ist, liegen über 90 % der Abweichungen unter 5 Wm^{-2} oder absolut unter 3 %, bezogen auf den Referenzwert. Werte mit Taufall sind eliminiert, denn dieser bewirkt eine scheinbare Erhöhung der Globalstrahlung durch Streuung direkter Sonnenstrahlen zum Sensor hin.

Abb. 5
y-Achse: Differenz von 6 Pyranometern zum Mittelwert aus 12 Geräten. Markierungen für die einzelnen Geräte links oben.
x-Achse: Sonnenhöhe.



Im Tagesverlauf der einzelnen Differenzen zeigt sich der Einfluss von Nivellierungsunterschieden wie bei den Pyrradiometern. Diese Fehler scheinen aber ein Beitrag zur Messunsicherheit benutzerseits zu sein.

Insgesamt hatte der Test eine vertrauensbildende Wirkung bezüglich der Herstellerangaben über Kalibrierfaktoren und Fehlergrenzen, zumindest was die Präzision, d.h. die Vergleichbarkeit der Geräte untereinander betrifft.

4.3 Lufttemperatur und Luftfeuchte

Wir verwenden Psychrometer von der Bauart nach Frankenberger. Als Fühler für Trocken- und Feuchttemperatur dienen Pt100. Diese sind jeweils in einem doppelten Strahlungsschutzrohr untergebracht und werden ventiliert.

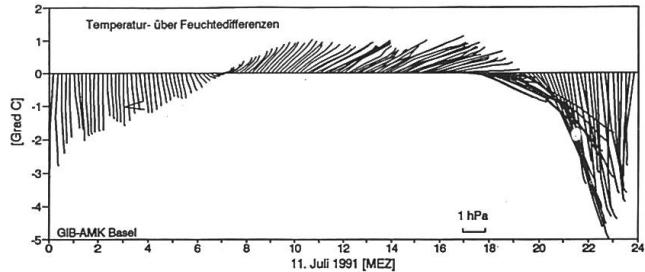
Jeder einzelne Fühler wird in einem thermostatisierbaren Bad im Bereich von -15.0°C bis $+40.0^{\circ}\text{C}$ kalibriert. Die Badtemperatur wird mit drei Pt100 bestimmt. Diese sind von uns mit einem HP-Quartz-Thermometer kalibriert worden. Der Kalibriervorgang läuft von einem PC gesteuert vollautomatisch ab. Der Aufwand für mehrere Durchgänge inklusive Auswertung reduziert sich auf 2-3 Stunden. Die mit den kalibrierten Fühlern gemessene Badtemperatur stimmt auf $\pm 0.005^{\circ}\text{C}$ mit dem Referenzwert überein. Das ist – wohl gemerkt – Laborgenauigkeit.

Im Gelände sind die Psychrometer u.a. Wind- und Strahlungseinflüssen ausgesetzt. Tests, bei denen mehrere Geräte nebeneinander ohne Strümpfe betrieben wurden, haben gezeigt, dass in Abhängigkeit von der Anströmungsrichtung strahlungsbedingte Unterschiede zwischen den beiden Fühlern von bis zu 0.05°C auftreten. Im Windkanal konnte dieser Vorgang reproduziert werden. Der im Windschatten liegende Fühler ist tagsüber wärmer, nachts etwas kälter. Diese Fehler fallen aber bei Gradientenmessungen nicht ins Gewicht, da – Baugleichheit und gleiche Exposition vorausgesetzt – die Geräte in den verschiedenen Höhen 'gleich falsch' messen. Dies gilt auch für die Messung der Feuchttemperatur.

Ein weitaus grösseres Problem stellt hier der Einfluss des Strumpfes (Docht) dar, des Stückchens Baumwolle also, das, über den Fühler gezogen, befeuchtet und mit einem Ende im Wasser hängend dafür sorgen soll, dass immer genügend Wasser verdunsten kann, damit anhand der durch die Abkühlung entstandenen Differenz zum Trockentemperaturfühler der aktuelle Wasserdampfgehalt der Luft berechnet werden kann. Die Verdunstung wird stark von den Ventilationsbedingungen und den Materialeigenschaften des Strumpfes beeinflusst. Lüftungsgeschwindigkeiten $\geq 4 \text{ ms}^{-1}$ gelten als ausreichend. Bei Spannungen zwischen 8 und 14 V bewirken die eingebauten Radiallüfter einen Luftdurchsatz umgerechnet auf den Querschnitt von 5 bis 9 ms^{-1} (bestimmt mit der "Füll-den-Plastiksack"-Methode). Während eines Gleichlauftests mit drei Psychrometern im Gelände hatte die Variation der Lüfterspannung im angegebenen Bereich keinen erkennbaren Einfluss auf die Feuchtemessung. Das Wechseln der Strümpfe sorgte hingegen immer wieder für systematische Unterschiede von bis zu 0.1 hPa .

Die Strümpfe bestehen aus Baumwolle und werden ausgekocht. Um die Saugfähigkeit zu erhöhen, wird zusätzlich ein Streifen Verbandsmull in den Strumpf eingezogen. Es wird darauf geachtet, dass die Anbringung an allen Fühlern immer gleich erfolgt. Dabei werden Handschuhe und Pinzette verwendet. Im Vorratsbehälter sind 0.5 l destilliertes Wasser; dieses reicht bei hohem Verdunstungsanspruch für 10-12 Tage. Die

Abb. 6 Tagesverlauf der Gradienten von Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur dargestellt für die REKLIP-Station Observatorium. Erläuterungen siehe Text.



Strümpfe werden wöchentlich gewechselt. Vom sorgfältigen Umgang mit den Strümpfen hängt ein Grossteil des Erfolges ab, Feuchtegradienten über einen längeren Zeitraum richtig messen zu können.

Landwirtschaftliche Flächen sind im Vergleich zu Wald glatt, d.h. die Gradienten von Lufttemperatur und Luftfeuchte sind zumindest auf den ersten fünf Metern stark ausgeprägt. Die Messung der Temperaturgradienten bereitet keine Probleme, auch nicht im oberen Bereich, wo sie meist nur um $0.03^{\circ}\text{C m}^{-1}$ betragen. Bei der Feuchtigkeit wird es schwierig, wenn wegen Trockenheit die Gradienten klein werden. Dann zeigen sich in den Profilen die Messfehler oder auch advektive Einflüsse.

Um die Profile zu überprüfen und die Anwendbarkeit der Bowen-Ratio-Methode zu testen, können die Temperaturgradienten über den Feuchtegradienten aufgetragen werden. Besteht eine Ähnlichkeit zwischen den Gradienten, so sollte sich eine Gerade ergeben. Auf einen Blick kann man erkennen, ob etwas nicht in Ordnung ist.

In Abb. 6 sind die Temperatur- und Feuchtwerte einer REKLIP-Station entsprechend aufbereitet für einen Tag dargestellt. Vom untersten wird jeder Messwert des Profils abgezogen ($t_1-t_5, q_1-q_5; t_1-t_4, q_1-q_4; \dots$). Zur Darstellung aller Profile wird der Nullpunkt auf der Zeitachse immer um 10 min versetzt. Es sind also immer die Veränderungen von Temperatur und Feuchte bezogen auf das unterste Niveau zu sehen. Dargestellt sind 10 min-Werte. Die starke Neigung nach rechts tagsüber bedeutet, dass die Feuchteabnahme mit der Höhe stark ausgebildet war. Anfang Juli war noch ausreichend Bodenfeuchtigkeit für die Transpiration vorhanden. Die Anordnung der Profilwerte auf einer Geraden sprechen für die Anwendbarkeit der Bowen-Ratio Methode. Einzig im oberen Bereich deutet das "Flattern" auf Störungen hin.

Luftfeuchtigkeit und Lufttemperatur werden an den REKLIP-Stationen in 2 m noch zusätzlich mit einem Vaisala HMP35A gemessen (siehe Tab. 2). Die Sensoren sind in einem Gehäuse geschützt gegen direkte Sonnenstrahlung untergebracht. Auf dem Gehäuse ist ein mit Solarzellen betriebener Ventilator montiert. Trotz dieser Vorrichtung ist die Temperaturmessung erheblich von Wind und Strahlung beeinflusst.

Testmessungen ergaben, dass die Lufttemperatur mit 0.3 bis 2°C zu hoch gemessen sind. Bei der Luftfeuchtigkeit streuen die Messungen im Vergleich zum Psychrometer im Bereich von $\pm 3\%$ relativer Feuchte. Weitere Auswertungen stehen hier noch aus.

4.4 Windgeschwindigkeit

Alle eingesetzten Schalenkreuzanemometer wurden im Windkanal des Instituts für Flüssigdynamik an der ETH Zürich kalibriert. Vaisala gibt für sein WAA15 keine individuellen Kenngrößen an. Die Unterschiede zwischen 11 von uns getesteten Anemometern waren vernachlässigbar ($< 2\%$), die Herstellerangaben also korrekt. Dies bezieht sich auch auf die Entfernungskonstante, die von uns mit 1.6 m (Vaisala 1.5 m)

bestätigt werden konnte. Der zweite von uns eingesetzte Anemometertyp hat ein wesentlich grösseres Schalenkreuz und ist dafürträger. Das spiegelt sich in der mit 5 m bestimmten Entfernungskonstanten wider.

4.5 Niederschlag

Zur Niederschlagserfassung werden bistabile Wippen mit einer Auflösung von 0.1 mm eingesetzt. Die Geometrie sowie die Auffangfläche (200 cm^2) der Geräte entspricht in etwa derjenigen der Hellmann-Totalisatoren. Die Aufstellhöhe beträgt in Anlehnung an die Schweizerische Meteorologische Anstalt (SMA) 1.5 m.

Zur Kalibrierung der Geräte wurde der Umkipppunkt der Wippe möglichst genau auf 2 ml eingestellt. Um darüber hinaus aber auch im Feldeinsatz die Genauigkeit der Niederschlagsregistrierung überprüfen zu können, werden die gefallenen Niederschläge in eine separate Sammelflasche geleitet und diese Niederschlagsmenge mit der durch die Wippe im gleichen Zeitraum registrierten Menge verglichen. Typische Abweichungen zwischen diesen beiden Messverfahren liegen bei 5 %, wobei der relative Fehler bei geringen Niederschlagsmengen (< 5 mm/Woche) natürlich auch bedeutend höher liegen kann.

An einer Station wurde ausserdem aus Vergleichs- und Redundanzgründen eine zweite Wippe (Fa. Campbell) installiert, die sich bezüglich Auflösung (0.2 mm), Auffangfläche (500 cm^2) und Gehäusegeometrie deutlich von den Standardgeräten in unserem Messnetz unterscheidet. Vergleiche dieser beiden Geräte ergaben, dass die wöchentliche Niederschlagsmenge ebenfalls mit einer Übereinstimmung von 5 % ermittelt wird. Betrachtet man aber den Gang des Niederschlagsgeschehens (10-Minuten-Summen), so zeigen sich recht grosse Differenzen zwischen den Geräten. Es lässt sich daraus folgern, dass der Niederschlagsgang durch unsere Geräte zwar in seiner Charakteristik verfolgt werden kann, dass aber die Bestimmung einer genauen Niederschlagsmenge bei hoher zeitlicher Auflösung (<1 h) mit grossen Unsicherheiten behaftet ist.

Da eine unserer Stationen in unmittelbarer Nachbarschaft einer SMA ANETZ-Station steht, sind auch Vergleiche mit diesen Daten möglich. Erste Auswertungen ergaben Abweichungen von unter 3 % für eine Monatssumme.

5 Erste Ergebnisse

Abschliessend sollen aus dem umfangreichen Datenmaterial anhand zweier Beispiele erste Auswertungen vorgestellt werden.

In Abb. 7 sind für fünf Stationen Häufigkeitsanalysen für Windrichtung und -geschwindigkeit für den Zeitraum von Juli bis Dezember 1991 zu sehen, aufgeteilt in Tag- und Nachtwerte. Die Klassenbreite für die Windrichtung, dargestellt auf der x-Achse, beträgt 22.5 Grad, diejenige für die Windgeschwindigkeit (y-Achse) 1 ms^{-1} . Die Häufigkeiten der einzelnen Klassen werden durch die Grössen der Boxen in den einzelnen Diagrammen repräsentiert.

An allen Stationen lassen sich im wesentlichen als Hauptwindrichtungen Ost und West ausmachen, wobei bei Gupf und Fischingen um Nord ein drittes Maximum auftritt. Der Wind aus Westen ist im allgemeinen stärker, die Differenzierung in Tag und Nacht

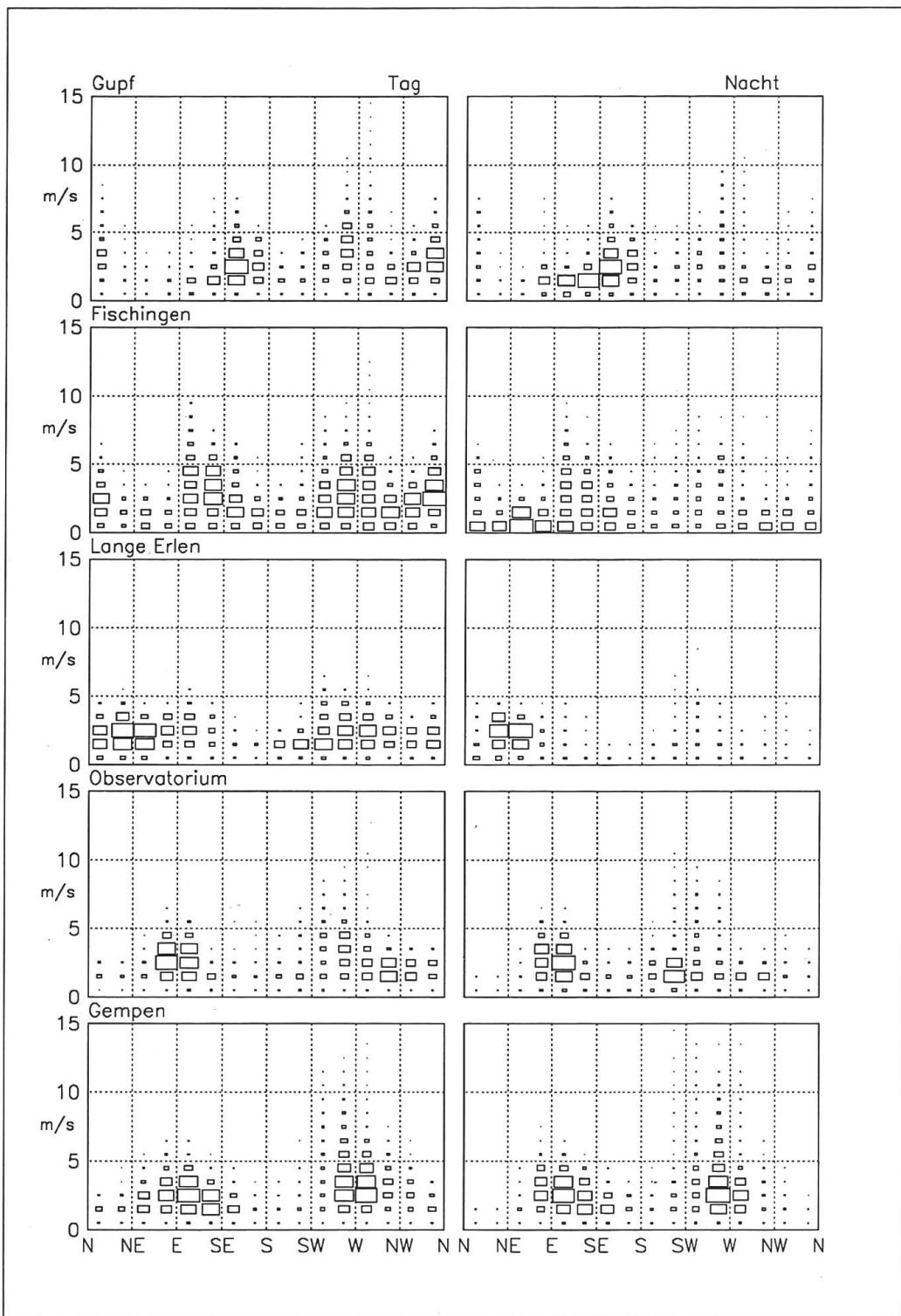


Abb. 7 Häufigkeitsverteilung von Windrichtung und Windgeschwindigkeit an fünf REKLIP-Stationen aufgeteilt in Tag und Nacht. Zeitraum: Juli bis Dezember 1991.
 x-Achsen: Windrichtung, Klassenbreite 22.5 Grad. y-Achse: Windgeschwindigkeit, Klassenbreite 1ms^{-1} . Anzahl Fälle pro Station rund 25'000 10 min-Werte.

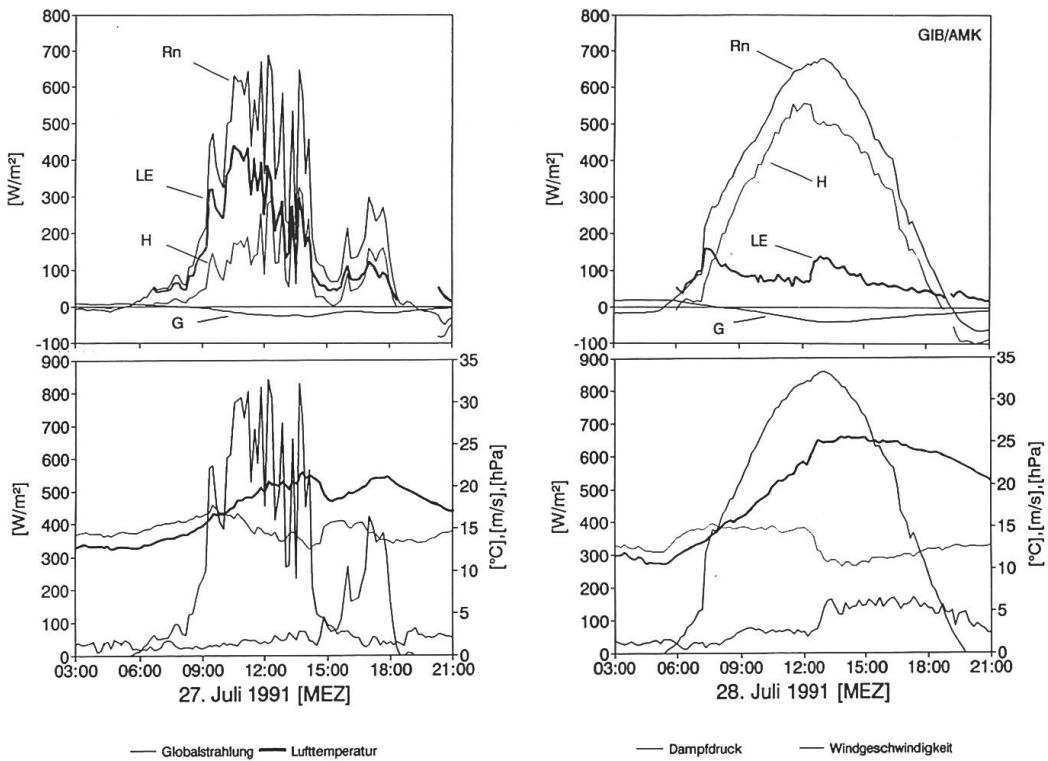


Abb. 8 Wärmehaushalt und meteorologische Situation am 27. und 28. Juli 1991 an der Station Observatorium. Oben: R_n =Strahlungsbilanz; G=Bodenwärmestrom; H=fühlbarer Wärmestrom; LE=Verdunstung; H und LE sind mit umgekehrten Vorzeichen dargestellt. Unten: vgl. Legende.

zeigt das häufigere Auftreten östlicher Richtungen während der Nacht; insbesondere bei der Station Lange Erlen zeigt sich die Dominanz des talachsenparallelen Kaltluftabflusses aus dem Wiesental. Auffallend ist an dieser Station auch, dass hier verhältnismässig geringe Geschwindigkeiten vorherrschen, was auf das suburbane Umfeld (erhöhte Rauhigkeit) und die geschützte Lage im Tal zurückzuführen ist.

Als zweites Beispiel sind für zwei Tage im Juli 1991 für die Station Observatorium in den beiden oberen Diagrammen der Abb. 8 der Wärmehaushalt und in den unteren Diagrammen verschiedene meteorologische Grössen dargestellt. Die Verdunstung wurde mit der Bowen-Ratio-Methode berechnet.

Am Vortag des 27. Juli hatte es heftig geregnet (ca. 90 mm!). Entsprechend hoch war die Verdunstung am 27., was hauptsächlich auf den nassen Bestand zurückzuführen ist. Das Getreide war reif, so dass seine Verdunstungsleistung bereits deutlich reduziert gewesen sein dürfte. Dementsprechend war am Tag darauf die Verdunstung, trotz höherem Energieinput, deutlich geringer.