

Forstmeteorologische Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg



H. Mayer, D. Schindler, A. Wellpott, G. Fernbach und D. Redepenning

Freiburg, Dezember 2003



Anschrift der Autoren: Prof. Dr. Helmut Mayer, Dipl.-Forstw. Dirk Schindler, Dipl.-Hydr.
Axel Wellpott, Gerhard Fernbach und Dirk Redepenning,
Meteorologisches Institut der Universität Freiburg
Werderring 10, D-79085 Freiburg
Phone: 0049/761/203-3590; Fax: 0049/761/203-3586
e-mail: meteo@meteo.uni-freiburg.de
URL: <http://www.mif.uni-freiburg.de>

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Einleitung	4
2. Großräumiger Standort	5
2.1 Geographische Lage	5
2.2 Bodenverhältnisse	7
2.3 Klimatische Verhältnisse	8
2.4 Hydrologische Verhältnisse	10
2.5 Vegetation	11
3. Forstmeteorologische Messstelle Hartheim	12
3.1 Kleinräumiger Standort	12
3.2 Messsysteme	16
3.2.1 Messtürme	17
3.2.2 Messwertgeber	19
3.3 Datenerfassung	23
3.3.1 Digitale Datenregistrierung	24
3.3.2 Analoge Datenregistrierung	25
3.4 Wartungs- und Kalibrierarbeiten	25
3.5 Datenprüfung	26
3.6 Datenarchivierung	26
4. Exemplarische Ergebnisse	27
5. Literatur	37
6. Arbeiten zur Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg	39

1. Einleitung

Dieser Exkursionsführer beschreibt die Forstmeteorologische Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg (= FMIF). Sie wurde im Jahr 1969 eingerichtet. An dieser Messstelle in einem überwiegend aus Waldkiefern (*Pinus sylvestris*) bestehendem Wald (Abb. 1) werden kontinuierliche meteorologische und hydrometeorologische Messungen zur langfristigen Analyse des Energie- und Wasserhaushaltes durchgeführt. Die Direktoren des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg (von 1972 bis September 1992: Prof. Dr. phil. Albrecht Kessler; seit Oktober 1992: Prof. Dr. rer. nat. Dr. rer. silv. habil. Helmut Mayer) tragen die Verantwortung für die Durchführung dieser Messungen und ihre wissenschaftliche Auswertung. Aufgrund der langfristigen, ununterbrochenen Messungen ist diese forstmeteorologische Messstelle inzwischen weltweit einmalig.

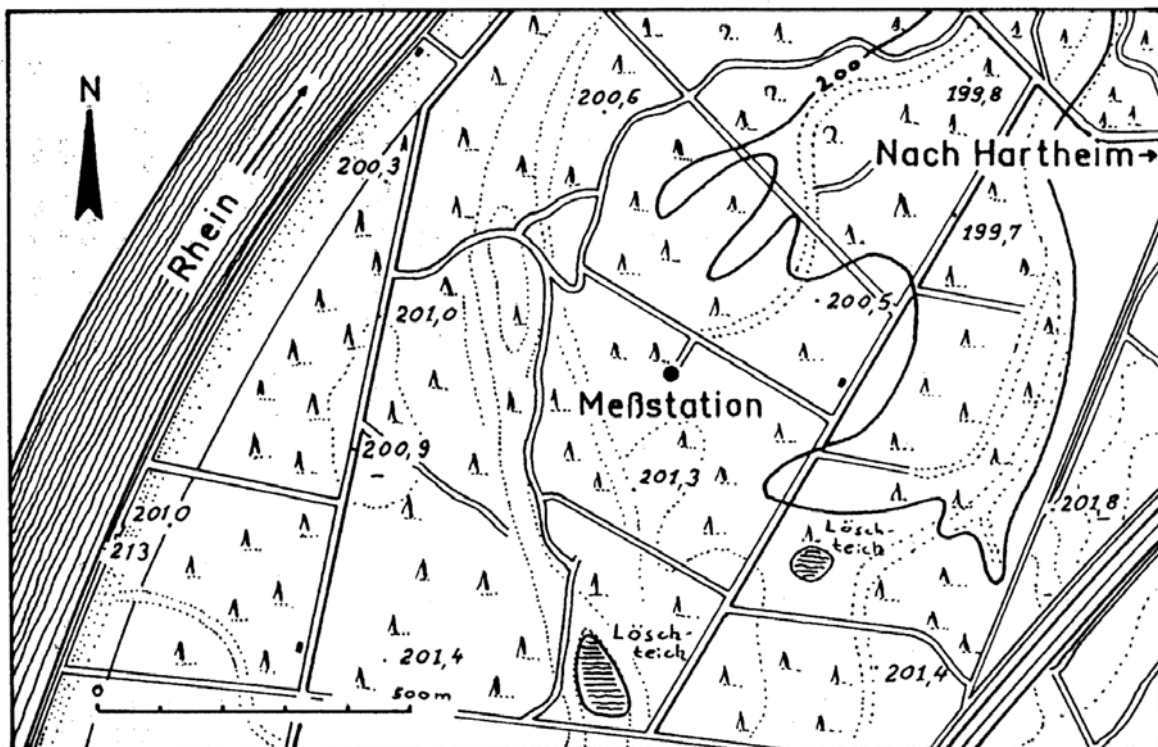


Abb. 1: Lage der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg im Hartheimer Gemeindewald in der südlichen Oberrheinebene (aus Jaeger, 1978)

Neben den eigenen langfristigen Untersuchungen finden an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim immer wieder temporäre Experimente mit Beteiligung von anderen Institutio-

nen statt, so z.B. die HartX-Kampagne im Mai 1992 im Rahmen des **Regio-Klima-Projektes** (REKLIP) oder von 1997 bis 1999 Messungen zur Emission und zum Austausch von biogenen Kohlenwasserstoffen innerhalb des Troposphärenforschungsprogrammes (TFS).

2. Großräumiger Standort

2.1 Geographische Lage

Die Forstmeteorologische Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg befindet sich ca. 1 km vom heutigen Flussbett des Rheins entfernt im Hartheimer Gemeindewald (Abb. 1), der in der südbadischen Oberrheinebene ca. 23 km südwestlich Freiburg liegt (Abb. 2).

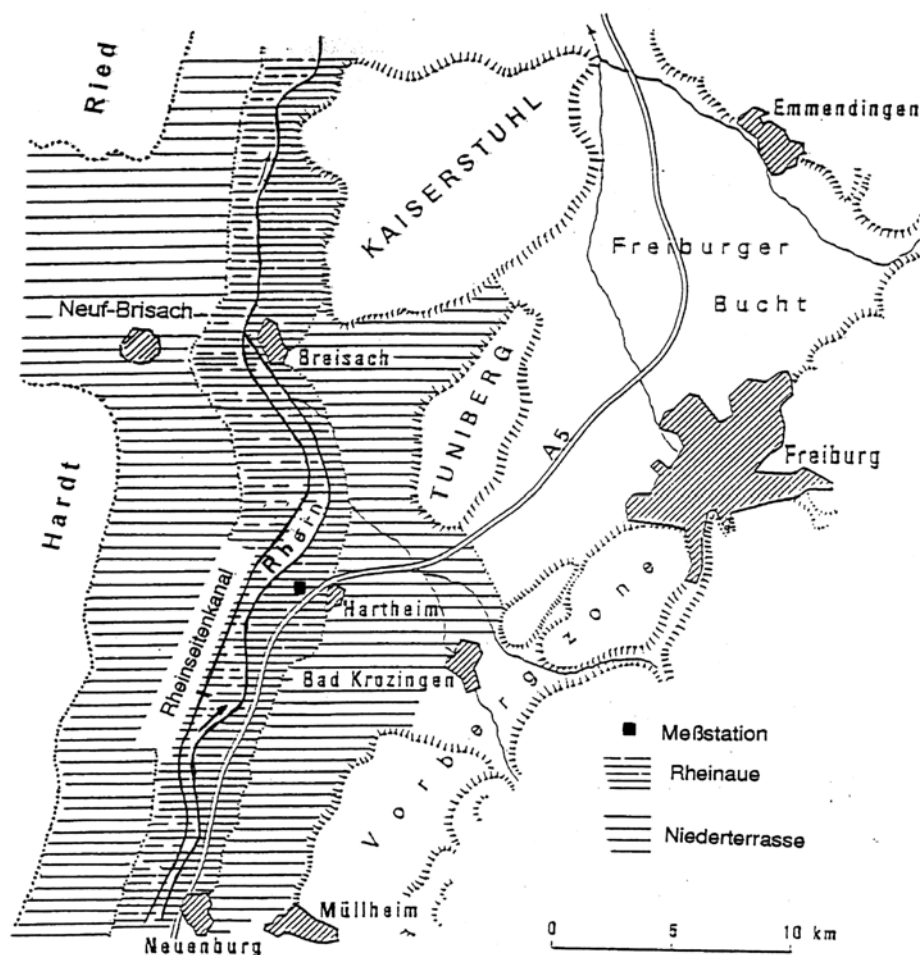


Abb. 2: Großräumige Lage der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg (aus Jaeger und Kessler, 1996)

Die Oberrheinebene bildet die tiefste Stelle des Oberrheingrabens (Abb. 3). Er ist als Teil einer durch ganz Mitteleuropa verlaufenden Bruchzone (Mittelmeer-Nordsee-Zone) ein typischer Gewölbescheitelbruch, dessen Bildung bis in das Miozän (Tertiär) zurückreicht (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, 1981). Nach Genser (1992) setzte die eigentliche Bruchbildung im Obereozän ein. Die Hebung der Grabenflanken erfolgte bis in das Altpleistozän (Quartär) und ist wahrscheinlich auf das Einströmen subkrustaler Massen (Manteldiapir) aus dem alpinen Raum zurückzuführen, in dem teilweise zeitgleich die Gesteinsbildungsprozesse abliefen. Bedeutsame Lagerstätten in diesem Raum sind heute die Kalisalzvorkommen nördlich von Mulhouse sowie die quartären Kieslager (Geyer und Gwinner, 1991). Kiese und Sande der holozänen Deckschichten stammen - der Neigung des Reliefs während des Pleistozäns folgend - aus dem alpinen Raum. Die Begrenzungen des südlichen Oberrheingrabens

- ** im Westen durch die Vogesen,
- ** im Osten durch den Schwarzwald

führen zu einem stark meridional ausgeprägtem Klima in dieser Region (Fiedler, 1995).

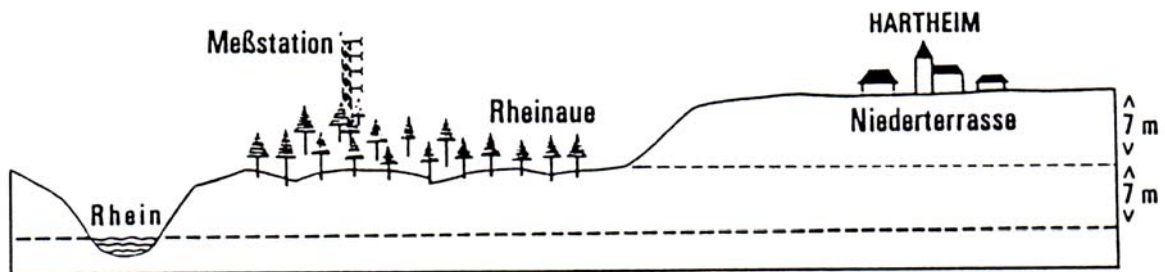


Abb. 3: Schematisches Querprofil durch die Rheinaue in Höhe der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (aus Kessler et al., 1988)

Die südliche Oberrheinebene zwischen Freiburg und Basel wird hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt. Hier überwiegen Ackerbau, z.B. Spargel oder Mais, sowie Obst- und Weinbau. Grünlandbewirtschaftung ist eher selten; zusammenhängende größere Waldflächen fehlen. Bis auf die Räume Basel, Mulhouse und in geringem Maß auch Freiburg gibt es keine Industriebetriebe mit bedeutenden Emissionen. Entlang des Rheins befinden sich Wasserkraftwerke und das französische Kernkraftwerk Fessenheim, das nahe zum Hartheimer Wald liegt.

Ausgehend vom Prinzip der Strukturierung einer Landschaft nach Meynen und Schmithüsen (1962) wurde im Rahmen von REKLIP das Oberrheingebiet in naturräumliche Einheiten eingeteilt (Fiedler, 1995). Danach liegt die Forstmeteorologische Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg in der Markgräfler Rheinebene.

2.2 Bodenverhältnisse

Die geologische Entwicklung des Oberrheingrabens hat auch Folgen für die Pedogenese. Die Auesedimente bestehen aus holozänen unverwitterten sandigen Kiesen. Aufgrund ihrer Herkunft vorwiegend aus dem kalkalpinen Raum sind sie mit einem Anteil von 20 bis 30 % sehr carbonatreich. An einigen Stellen ragt der Kieskörper bis an die Erdoberfläche. Die Hochflutdeckschicht, die an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim eine mittlere Mächtigkeit von 40 cm hat (Sturm, 1998), besteht aus lehmig-schluffigem Feinsand. Aufgrund des Ausgangsgesteins ist sie ebenfalls sehr carbonatreich und weist einen stark ansteigenden Skeletgehalt zum Ausgangsgestein hin auf (Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, 1981).

Schäfer (1977) spricht den Bodentyp im Bereich der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim als anthropogene Kalkpaternia-Pararendzina an. Wegen der vergleichsweise geringen Niederschläge, woraus eine eingeschränkte Lösungsverwitterung resultiert, und wegen der hohen Carbonatgehalte stagniert die Bodenentwicklung. Der pH-Wert des Mineralbodens liegt zwischen 7.6 und 8.3; der Stickstoffgehalt in der Deckschicht schwankt zwischen 0.23 und 0.14 % (Hädrich und Stahr, 1992).

Die edaphischen Gegebenheiten lassen bereits vermuten, dass Fein- und Mittelwurzeln hauptsächlich in der Deckschicht zu finden sind. Obwohl der Boden eine bodenartbedingte hohe Wasserkapazität aufweist, kann er wegen der Flachgründigkeit der Deckschicht nur geringe Wasservorräte bilden. Trotz hoher Nährelementvorräte ist das Nährstoffangebot aufgrund der eingeschränkten chemischen Verwitterung relativ gering (Schäfer, 1977). Nadelanalysen von Trüby (1983) ergaben, dass die Nährstoffversorgung des Hartheimer Kiefernwaldes, abgesehen von Mangan, ausreichend bis gut ist. Die von ihm durchgeführten Bewässerungsversuche belegen durch höhere Wuchsleistung der bewässerten Parzellen, dass die Bodenwasserversorgung der ausschlaggebende Minimumfaktor für das Pflanzenwachstum am Standort ist.

Für den Boden an der Forstmeteorologische Messstelle Hartheim sind in den Tab. 1 und 2 einige Kenngrößen zusammengestellt.

Tab. 1: Kenngrößen des Bodens an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg (Jaeger, 1978; Sturm, 1998)

Bodenart	sandig-schluffig auf Kies/Sand
Mächtigkeit der Deckschicht	14 - 88 cm, im Mittel 40 cm
Dichte	1,0 - 1,4 g/cm ³
Feldkapazität	31,4 Vol. %
Welkepunkt	11.7 Vol. %

Tab. 2: Häufigkeitsverteilung der vertikalen Mächtigkeit der Bodendeckschicht an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg, abgeleitet aus 2485 Bohrstockproben der gravimetrischen Bodenfeuchtebeobachtung in den Jahren 1988 bis 1994, (aus Sturm, 1998)

Tiefenschicht	Häufigkeit
10-15 cm	0,1 %
15-20 cm	0,4 %
20-25 cm	2,5 %
25-30 cm	4,5 %
30-35 cm	11,9 %
35-40 cm	24,4 %
40-45 cm	33,3 %
45-50 cm	12,9 %
50-55 cm	5,6 %
55-60 cm	2,1 %
60-65 cm	1,0 %
65-70 cm	0,3 %
70-75 cm	0,4 %
75-80 cm	0,3 %
80-85 cm	0,2 %
85-90 cm	0,1 %

2.3 Klimatische Verhältnisse

Das Klima in der südlichen Oberrheinebene, in der sich die Forstmeteorologische Messstelle Hartheim befindet, läßt sich wie folgt charakterisieren:

** Nach der effektiven Klimaklassifikation (Köppen, 1923) gehört die südliche Oberrheinebene zum feuchtgemäßigten Klima (Cfb). Für differenziertere Betrachtungen müssen aber, wie der REKLIP-Klimaatlas dokumentiert, die orographischen Einflüsse des stark gegliederten Gebietes berücksichtigt werden (Fiedler, 1995).

** Lufttemperatur T_a :

Aufgrund von Aufzeichnungen aus dem Zeitraum 1951 bis 1980 an der Wetterstation Bremgarten, die ca. 3.2 km südöstlich der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim liegt, lässt sich das thermische Niveau in diesem Bereich des Oberrheingrabens beschreiben (siehe auch Abb. 4).

- mittlere jährliche Lufttemperatur: 9.8 °C,
- mittlere monatliche Lufttemperatur im kältesten Monat (Januar): 0.9 °C,
- mittlere monatliche Lufttemperatur im wärmsten Monat (Juli): 19.0 °C,
- mittlere Lufttemperatur von April bis September (Vegetationsperiode): 15.4 °C.

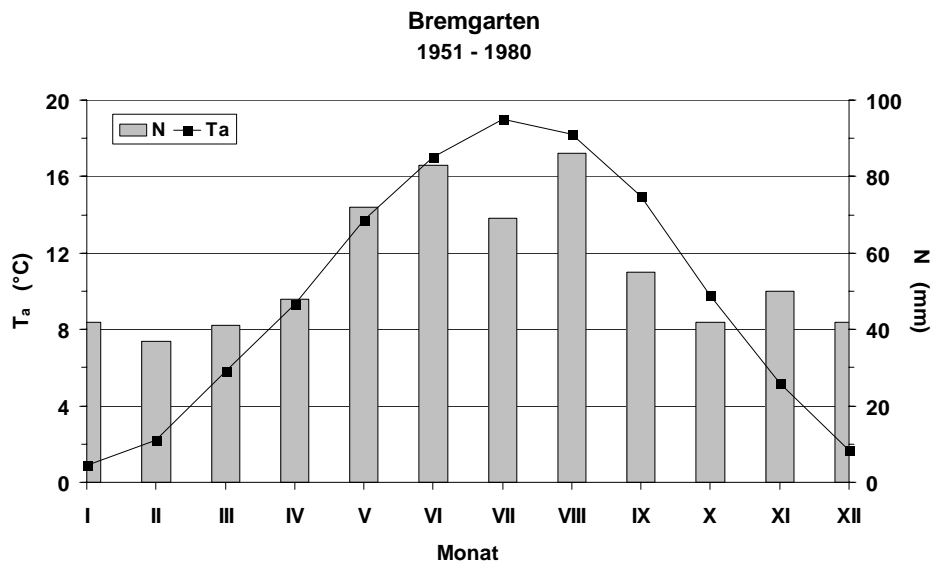


Abb. 4: Monatsmittelwerte der Lufttemperatur T_a und mittlere Monatssummen des Niederschlags N an der Wetterstation Bremgarten (3.2 km südöstlich der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim) im Zeitraum 1951 bis 1980 (nach Jaeger und Kessler, 1996)

** Niederschlag:

- Infolge der Strömungshindernisse „Vogesen“ und „Schwarzwald“ differieren die Niederschlagssummen quer durch die Oberrheinebene.
- Die mittlere jährliche Niederschlagssumme liegt
 - in der westlichen Oberrheinebene (Elsaß) zwischen 400 und 600 mm,
 - in der östlichen Oberrheinebene (Baden) zwischen 900 und 1000 mm.
- Von April bis September (Vegetationsperiode) liegt die mittlere Niederschlagssumme
 - in der westlichen Oberrheinebene am Fuß der Vogesen unter 360 mm,
 - in der übrigen Oberrheinebene zwischen 360 und 450 mm.

- An der Wetterstation Bremgarten betrug im Zeitraum 1951 bis 1980 (Abb. 4) die mittlere jährliche Niederschlagssumme 667 mm, die mittlere Niederschlagssumme in der Vegetationsperiode (April bis September) 413 mm, die mittlere Niederschlagssumme im niederschlagsärmsten Monat (Februar) 37 mm, die mittlere Niederschlagssumme im niederschlagsreichsten Monat (August) 86 mm.

** Nebel:

In der südlichen Oberrheinebene gibt es im Mittel 70 bis 80 Tage pro Jahr mit Nebel. Die meisten Nebeltage treten von Oktober bis Januar auf; die wenigsten Nebeltage weist der Juli auf.

2.4 Hydrologische Verhältnisse

Der Wasserhaushalt der Oberrheinebene ist maßgeblich durch wasserwirtschaftliche Eingriffe beeinflusst, die innerhalb der letzten 150 Jahre in der Region vorgenommen wurden. Vor diesen Eingriffen verlief der Oberrhein, unterteilt in viele Einzelarme, mit einem Gefälle von ca. 0.1 % in einer 2 bis 3 km breiten Talaue. Dieses große Gefälle führte zu einer hohen Flussdynamik und zur Ausbildung einer Furkationszone im Untersuchungsgebiet. Wegen des alpinen Abflussregimes mit sommerlichen Schmelzhochwässern war die Niederterrasse in dieser Jahreszeit landwirtschaftlich kaum nutzbar.

Um Standortsnachteile zu beseitigen, wurden seit dem letzten Jahrhundert großräumige wasserwirtschaftliche Eingriffe vorgenommen. Die Rheinkorrektur durch Tulla in den Jahren 1813 bis 1870 führte zu einer ersten Vertiefung des Flussbettes. Die Errichtung eines durchgehenden Hochwasserdammes zwischen Basel und Karlsruhe und das Zuschütten der Altrheinarme (1890 bis 1900) ergab eine Erweiterung der landwirtschaftlichen Nutzfläche, der Fließquerschnitt des Rheins wurde jedoch gleichzeitig weiter reduziert, wodurch das Flussbett verstärkt erodiert wurde. Der Bau des zum Grundwasserkörper vollständig abgedichteten Rheinseitenkanals zur Schiffbarmachung des Flusses bei gleichzeitiger Energiegewinnung an mehreren Staustufen führte zu einer weiteren Senkung des Grundwasserspiegels im Bereich der Aue und Niederterrasse (Kunz, 1987). Heute liegt er im Bereich der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim ca. 7 m unter Flur.

Infolge des Rheinseitenkanals auf der französischen Rheinseite, der 1952 eröffnet wurde, fließen heute während der meisten Zeit des Jahres, vertraglich bedingt, nur noch 20-30 m³/s Wasser durch den Rhein; dagegen werden bis zu 1400 m³/s durch den Rheinseitenkanal geleitet.

Der Rhein in der südlichen Oberrheinebene stellt somit ein „trauriges Rinnsal“ dar, das nur noch in Hochwasserzeiten zu einem Strom wird (Reif, 1996).

Der Grundwasserkörper der zentralen südlichen Oberrheinebene wird hauptsächlich durch Versickerungen der schotterreichen seitlichen Zuflüsse des Rheins gespeist. Aufgrund der geringen Niederschläge (mittlere Jahressummen zwischen 600 und 700 mm) und der hohen Verdunstung besteht die Vermutung, dass in der südlichen Oberrheinebene die Grundwasserneubildung in der Nähe des Rheins nicht über den Niederschlag erfolgt, sondern über die genannten Versickerungen und durch Infiltration des Rheins. Dieser Strom ist also nicht mehr Vorfluter des Grundwassers, sondern das Grundwasser ist Vorfluter des Rheins.

Da der Grundwasserspiegel in der südlichen Oberrheinebene bei Hartheim derzeit ca. 7 m unter Flur liegt, kann das pflanzenverfügbare Wasser nur aus dem Niederschlag stammen. Das Energieangebot aus der Strahlungsbilanz für die Verdunstung des Waldes ist so groß, dass die auf den Wald fallende Jahresniederschlagsmenge auch wieder verdunstet wird und am Waldstandort keine Versickerung des Niederschlagswassers in den Grundwasserkörper stattfindet (Kessler et al., 1988). Daher ist der Waldstandort Hartheim hydrologisch als Trockengebiet zu klassifizieren (Reif, 1996).

Der Grundwasserkörper hängt stark von der Wasserführung des Rheins ab. Bei hoher Wasserführung dringt Rheinwasser in den Grundwasserkörper ein, was u.a. auch eine Schadstoffinfiltration in den Grundwasserkörper zur Folge hat. Bei niedriger Wasserführung sinkt der Grundwasserspiegel noch weiter ab.

2.5 Vegetation

Die ursprüngliche Vegetation in der Rheinaue war, wie schon der Name sagt, eine typische Auenvegetation (Reif, 1996). Im Überflutungsbereich gab es eine Weichholz- und Hartholzaue. Auf den nur selten und kurzzeitig überfluteten Standorten bildeten Stieleiche, Hainbuche, Linde und Feld-Ahorn einen Stieleichen-Hainbuchenwald mit seinen typischen Nebenbaumarten wie Holzapfel und im Süden Flaumeichen. Die Weichholzaunenwälder wurden jahrhundertlang intensiv als Brennholz und zur Faschinengewinnung genutzt. Die Bestände der Hartholzaue wurden als Niederwald oder oberholzarmer Mittelwald genutzt.

Nach der Tulla'schen Rheinkorrektur sank der Grundwasserspiegel in der Aue bereits gegen Ende des letzten Jahrhunderts unter den Wurzelbereich der Bäume. Extreme Trockenjahre, die hohe Sommerwärme und nicht zuletzt die geringe Wasserspeicherkapazität der sandig-

kiesigen Böden führten zu einem großflächigen Zusammenbruch der Rheinauenwälder. Heute gibt es in der südlichen Oberrheinebene keine größeren zusammenhängenden Aue (in der nördlichen Oberrheinebene nur noch im Bereich Rastatt).

Im Jahr 1948 war der Zerfall der Auenwälder so weit fortgeschritten, dass die Forstverwaltung den größten Teil der Wirtschaftsfläche wegen völliger Ertraglosigkeit aus dem forstlichen Verband herausnahm. Lediglich 33 % anbauwürdige Wirtschaftsfläche verblieben.

Bereits seit dem Jahr 1903, besonders aber nach 1923 wurde der forstliche Anbau der Kiefer, die in der südlichen Rheinaue ursprünglich eher selten anzutreffen war, ausgedehnt. Bereits 1938 war jeder zweite gepflanzte Baum im Bereich Breisach (der Hartheimer Gemeindewald wird vom Forstamt Breisach betreut) eine Kiefer. In den 50-er Jahren wurde ein Versuch unternommen, Trockenpappeln einzubringen, von denen allerdings zwei Drittel in den ersten vier Jahren wieder eingingen. In den 60-er Jahren erfolgte aufgrund staatlicher Zuschüsse eine weitere Aufforstung mit Waldkiefern (*Pinus sylvestris*). Auf Freiflächen oder aufgegebenen Bewirtschaftungsflächen bildet heute die Goldrute Dominanzbestände, die auch manche Aufforstungsmaßnahme zur Goldrutenbekämpfungsmaßnahme werden ließ.

Heute versucht man durch starke Durchforstungsmaßnahmen der mit ursprünglich 25000 Pflanzen/ha dicht gesetzten Bestände, den Mangel an Wasser zu regulieren, um so die Ertragskraft der verbliebenen Bestände zu steigern (Reif, 1996).

3. Forstmeteorologische Messstelle Hartheim

3.1 Kleinräumiger Standort

Die Forstmeteorologische Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg befindet sich im Wald der Gemeinde Hartheim im Landkreis Breisgau-Hochschwarzwald im Gewann Steingarten, ca. 23 km südwestlich von Freiburg (Abb. 1 und 2). Die geographischen Koordinaten der Messstelle lauten:

geographische Breite: 47° 56' 04" N; geographische Länge: 7° 36' 2" E;

Rechtswert: 32395399; Hochwert: 5310195;

Höhe: 201 m ü. NN.

Die Forstmeteorologische Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg im Hartheimer Gemeindewald (Abb. 5) umfasst eine eingezäunte Fläche von ca. 7000 m².

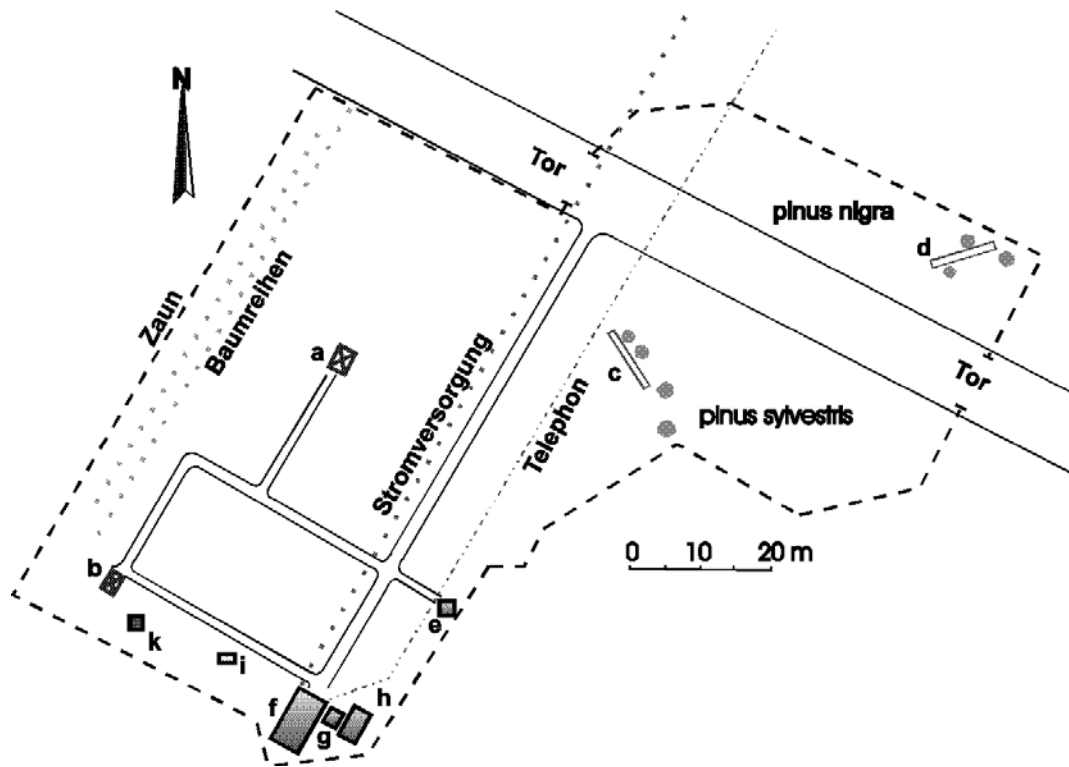


Abb. 5: Lageskizze der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg (nach Jaeger und Kessler, 1996)

- a: großer Messturm
- b: kleiner Messturm
- c: Messung von Kronendurchlass und Stammabfluss (*Pinus sylvestris*)
- d: Messung von Kronendurchlass und Stammabfluss (*Pinus nigra*)
- e: große genormte Wetterhütte
- f: Holzhütte (Registriereinheiten, kleine Werkstatt)
- g: Reservebatterien
- h: Materialhütte
- i: Bodenfeuchtemessung
- k: Messung von Bodentemperaturen

Beim Hartheimer Gemeindewald handelt es sich um einen größeren, zusammenhängenden Kiefernwald (Hartheimer Kiefernwald), der vorwiegend aus Waldkiefer (*Pinus sylvestris*) mit vereinzelt eingestreuten Beständen von Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) besteht. An der Messstelle hatte der Waldkiefernbestand im Jahr 2003 eine mittlere Höhe von 14,3 m (Abb. 6). Nach bisher insgesamt vier Durchforstungen (1970/71; 1981/82, Herbst 1993 und März 2003) beträgt derzeit die Bestandesdichte an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim unter Berücksichtigung von schadensbedingt entnommenen Bäumen ab dem Jahr 1994:

** 600 Bäume/ha (Waldkiefer).

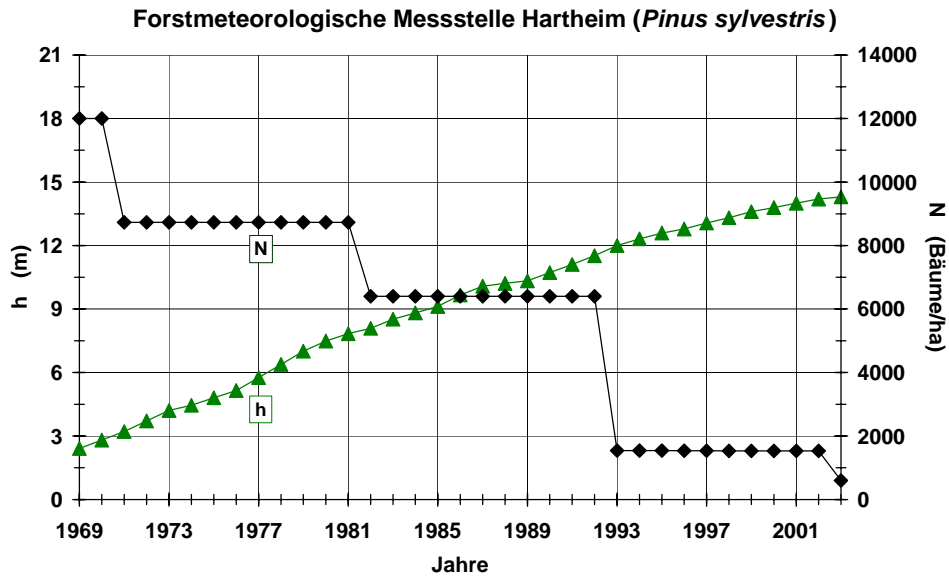


Abb. 6: Zeitliche Entwicklung von Bestandesdichte N und mittlerer Bestandeshöhe h des Kiefernbestandes (*Pinus sylvestris*) an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim

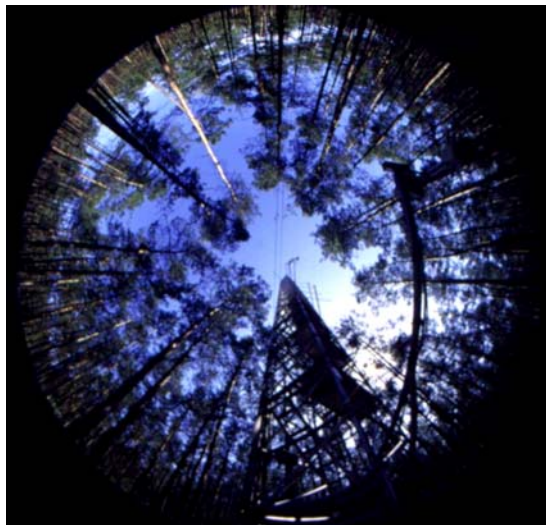


Abb. 7: Fish-eye-Aufnahme der Baumkronen von unten beim großen Messturm auf der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (April 1997)

Der Überschirmungsgrad durch den Waldkiefern-Bestand an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim, der aus Fish-eye-Aufnahmen abgeleitet werden kann (Abb. 7), schwankt seit der Durchforstung im Herbst 1993 zwischen 0.62 beim großen Messturm und 0.66 beim kleinen Messturm. Die Kronenkarte (Abb. 8) vermittelt einen Überblick über den Überschirmungsgrad auf der gesamten Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim im Jahr 1998.

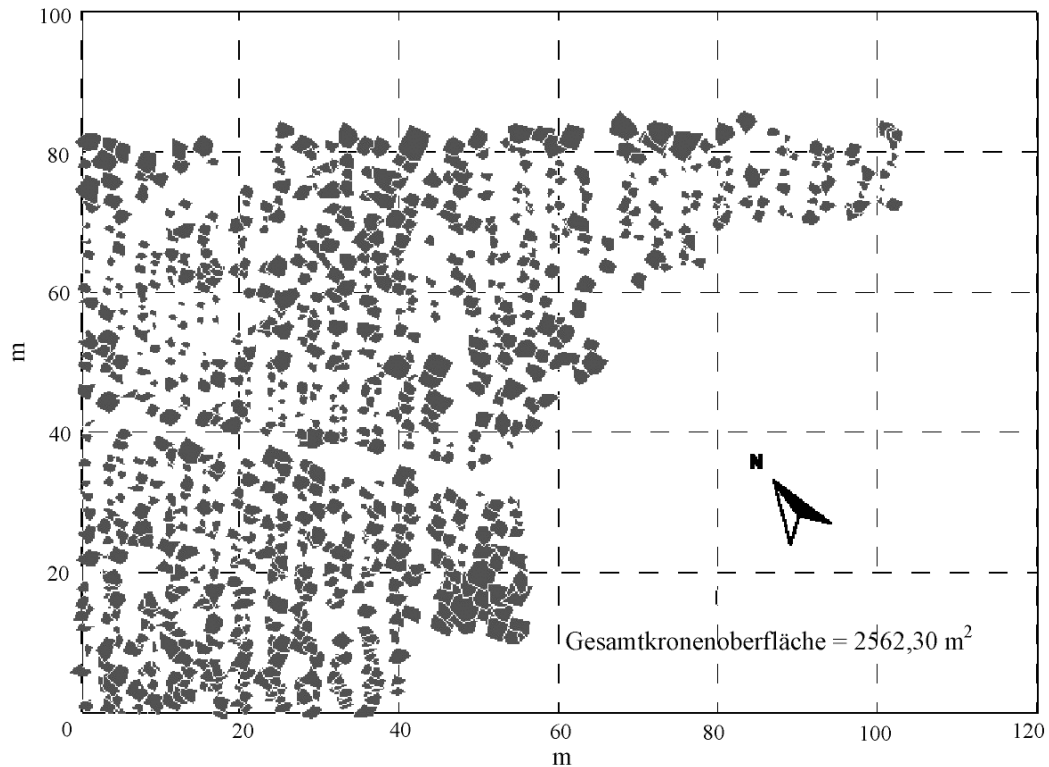


Abb. 8: Kronenkarte für die Forstmeteorologische Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg; Bezugsjahr 1998

Die Veränderung des Kiefernwaldes durch die Durchforstungsmaßnahme im Herbst 1993 ist in der Tab. 3 zusammengestellt.

Tab. 3: Biometrische Daten des Kiefernwaldes (*Pinus sylvestris*) an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg vor und nach der Durchforstung im Herbst 1993 (u.a. aus Sturm, 1998)

Kiefernwald	1992	1994
Bäume/ha	6400	4000
projizierter Blattflächenindex	3,28	2,07
projizierter Holzflächenindex	0,65	0,40
Xylemfläche in 1,3 m Höhe über Grund	33,45 cm ² /m ²	22,12 cm ² /m ²
oberirdische Biomasse	11,95 kg/m ²	7,9 kg/m ²

Für fünf unterschiedliche, im Jahr 1994 geerntete Bäume, die repräsentativ für den Kiefernwald an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim sind, erzielte Sturm (1998) folgende biometrische Regressionsbeziehungen (R^2 : Bestimmtheitsmaß):

** m_B : oberirdische Biomasse in kg, BHD: Brusthöhendurchmesser in cm

$$m_B = 6,155 * BHD - 34,321; \quad R^2 = 0,980$$

** F_X : Xylemfläche in BHD-Höhe in cm^2 , BHD: Brusthöhendurchmesser in cm

$$F_X = 17,645 * BHD - 93,734; \quad R^2 = 0,977$$

** F_B : projizierte Blattfläche in m^2 , BHD: Brusthöhendurchmesser in cm

$$F_B = 1,420 * BHD - 6,520; \quad R^2 = 0,940$$

** F_A : projizierte Astfläche in m^2 , BHD: Brusthöhendurchmesser in cm

$$F_A = 0,249 * BHD - 0,927; \quad R^2 = 0,974$$

Im Hartheimer Kiefernwald entwickelte sich eine Unterwuchsvegetation, die sich je nach Kronenschluss in verschiedenen Anteilen hauptsächlich aus dem Gras *Brachypodium pinnatum*, den Seggen *Carex alba* und *Carex flacca* sowie verschiedenen Moosen zusammensetzt (Wedler et al., 1996).

Der Hartheimer Kiefernwald erstreckt sich

** in N-S - Richtung über ca. 10 km,

** in W-E - Richtung über ca. 1,5 km.

Daraus resultiert die Besonderheit der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim, dass sie sich in einem sehr homogenen Umfeld befindet und insbesondere in N-S - Richtung einen hinreichend großen 'fetch' aufweist.

3.2 Messsysteme

Die eingezäunte Fläche der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim weist

** zwei Messtürme mit meteorologischen Messwertgebern,

** Messeinrichtungen unmittelbar über dem Waldboden und im Waldboden,

** eine Holzhütte für Registriereinrichtungen sowie kleinere mechanische, elektrische und elektronische Arbeiten,

** einen Messcontainer für auswärtige Gruppen

auf. Die Holzhütte ist über ein Freilandkabel durch den Wald mit dem öffentlichen elektrischen Netz verbunden. Sie verfügt ferner über einen Anschluß an das Telefonnetz.

3.2.1 Messtürme

Da - außer der Wasserbilanzmethode - das BREB-Verfahren (**B**owen **R**atio **E**nergy **B**alance) die Grundlage zur langfristigen Bestimmung des Energiehaushaltes des Hartheimer Kiefernwaldes ist, müssen neben Strahlungsmessungen in einer Messhöhe über dem Wald noch vertikale Profilmessungen von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit erfolgen, für die ein Messturm erforderlich ist. Die weitere Anwendung der aerodynamischen Methode zur Ermittlung des Energiehaushaltes des Waldbestandes setzt vertikale Profilmessungen der horizontalen Windgeschwindigkeit ebenfalls an einem Messturm voraus.

Vom Beginn der Untersuchungen (1969) bis zum Jahr 1985 wurde ein Teil der meteorologischen Messungen an einem Stahlrohrturm durchgeführt. Ursprünglich hatte er eine Höhe von 10 m; er wurde im Jahr 1984 auf 16 m und im Jahr 1998 auf 18 m erhöht (Abb. 9).

Aufgrund des Höhenwachstums der Waldkiefern von ca. 50 cm pro Jahr wurde ein noch höherer Messturm notwendig. Daher wurde im Jahr 1985 ein zweiter, aus Aluminium bestehender Messturm errichtet, der eine Höhe von 30 m hat (Abb. 10). Damit weist dieser Messturm derzeit etwas mehr als die doppelte Bestandeshöhe auf.

Nachdem der zweite Messturm betriebsbereit war, wurden alle Messwertgeber für

- ** Vertikalprofil der Lufttemperatur (Trockentemperatur),
- ** Vertikalprofil der Feuchttemperatur,
- ** Vertikalprofil der horizontalen Windgeschwindigkeit,
- ** Windrichtung
- ** Strahlung

dorthin umgesetzt.



Abb. 9: Kleiner Messturm auf der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg (Mai 2000)



Abb. 10: Großer Messturm auf der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg (Januar 1999)

3.2.2 Messwertgeber

In der Tab. 4 sind die derzeit an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim routinemäßig erhobenen Messgrößen und eingesetzten Messwertgeber zusammengestellt (siehe auch Abb. 11 bis 14).

Tab. 4: Derzeit routinemäßig erhobene Messgrößen und Messwertgeber an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim

Messgröße	Messwertgeber	großer Messturm (Höhe über Grund)	kleiner Messturm (Höhe über Grund)	Bodenniveau
Globalstrahlung	Pyranometer	16 m		
kurzwellige Reflexstrahlung	Pyranometer	16 m		
langwellige Strahlung aus dem oberen Halbraum	Pyrgeometer	16 m		
langwellige Strahlung aus dem unteren Halbraum	Pyrgeometer	16 m		
Strahlungsbilanz	Strahlungsbilanzmesser	16 m		
Lufttemperatur	Psychrometer (Pt 100)	2,0; 6,0; 9,9; 12,1; 15,5; 19,1; 23,6; 29,6 m		
Lufttemperatur	Thermograph			2,0 m Höhe über Grund (Hütte)
Luftfeuchtigkeit	Psychrometer (Pt 100)	2,0; 6,0; 9,9; 12,1; 15,5; 19,1; 23,6; 29,6 m		
Luftfeuchtigkeit	Hygrograph			2,0 m Höhe über Grund (Hütte)
Windgeschwindigkeit	Schalenkreuzanemometer	2,0; 6,0; 9,9; 12,1; 15,5; 19,1; 23,6; 29,4 m		
Windrichtung	Windfahne	30,0 m		
Bodentemperatur	Widerstandsthermometer Pt 100			1, 3, 5, 10, 20, 40 cm Tiefe
Bodenfeuchte	TDR-Sonde			20 cm Tiefe
Bodenfeuchte	Gravimetrie			30 - 60 cm Tiefe
Bodenwärmestrom	Bodenwärmepplatten			2 cm Tiefe
Freilandniederschlag	Niederschlagschreiber nach Hellmann		18,5 m	
Freilandniederschlag	Ombrometer	30,0 m	18,7 m	
Kronendurchlass	Regenrinnen			ca. 1,0 m über Grund
Stammabfluss	spiralförmige PVC-Manschetten			ca. 1,5 m über Grund
Luftdruck	Digitalmanometer			Holzütte

Zu den Messgrößen sind nachfolgend einige Spezifikationen der Messwertgeber angegeben:

- ** Globalstrahlung:
in den oberen Halbraum exponiertes Pyranometer vom Typ CM 21 der Firma Kipp & Zonen;
- ** kurzwellige Reflexstrahlung:
in den unteren Halbraum exponiertes Pyranometer vom Typ CM 21 der Firma Kipp & Zonen;
- ** langwellige Strahlung aus dem oberen Halbraum:
Pyrgeometer vom Typ CG1 der Firma Kipp & Zonen;
- ** langwellige Strahlung aus dem unteren Halbraum:
Pyrgeometer vom Typ CG1 der Firma Kipp & Zonen;
- ** Strahlungsbilanz:
Strahlungsbilanzmesser nach Schulze von der Firma Dr. Lange;



Abb. 11: Strahlungsmesswertgeber an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (links: 4 Pyranometer zur Messung von Globalstrahlung und kurzwelliger Reflexstrahlung; rechts vorne: Strahlungsbilanzmesser nach Schulze; rechts hinten: Pyrgeometer von Kipp & Zonen)

- ** Lufttemperatur:
Messung der Trockentemperatur über ein Psychrometer nach Frankenberger (Pt 100) mit folgenden Verbesserungen durch die Werkstatt des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg:
 - Durchmesservergrößerung der Ventilationsröhrchen, um eine Ventilationsgeschwindigkeit von 3 m/s zu gewährleisten,

- Verwendung elektronisch gesteuerter Motoren, um die Ventilationsgeschwindigkeit zu stabilisieren,
 - Goldkontakte bei Steckverbindungen und Verkabelungen,
 - Verbesserung der thermischen Isolation des Strahlungsschutzes um die Messwiderstände, um Wärmeübergänge zwischen äußerem und innerem Strahlungsschutz zu verringern,
 - Abdichtung aller elektrischen Leitungen gegen das Eindringen von Wasser und Wasserdampf mit Schrumpfschläuchen und deren Verguß mit Polymeren;
- ** Luftfeuchtigkeit:
- Psychrometer nach Frankenberger (Pt 100) mit folgenden Verbesserungen durch die Werkstatt des Meteorologischen Institutes:
- Aufpolsterung der Psychrometerstrümpfe zur Erhöhung der Wasserleitfähigkeit,
 - Vergrößerung des Umlenkradius der Befeuchtungsstrümpfe von den Messelementen zum Wasservorratsbehälter, um das Entstehen von Wasserabrißkanten zu vermeiden,
 - Vergrößerung des Wasservorratsbehälters,
 - Wahl lichtreduzierender Materialien für den Wasservorratsbehälter, um Algenbildung im Befeuchtungswasser zu verhindern,
 - Verwendung von PVC-Handschuhen beim Strumpfwechsel, um zu verhindern, dass Hautfett die Saugfähigkeit der Musseline-Psychrometerstrümpfe beeinträchtigt;
- ** horizontale Windgeschwindigkeit:
- Schalenkreuzanemometer vom Typ WAA 15 A der Firma Vaisala;
- ** Windrichtung:
- digitale Registrierung über eine Windfahne der Firma Friedrichs,
analoge Registrierung über eine Windfahne der Firma Lambrecht;
- ** Bodentemperatur:
- Bodenthermometer vom Typ PT 100 der Firma Heraeus in 1, 3, 5, 10, 20 und 40 cm Tiefe, eingebaut in ein Bodenthermometerprofil (Kupfer-PVC-Leiste);
- ** Bodenfeuchte:
- Neutronensonde bis zum Jahr 1980, ab 1981 über die gravimetrische Methode, zusätzlich TDR-Sonde vom Typ P2Z der Firma Imko ab dem Jahr 1997;
- ** Bodenwärmestrom:
- Bestimmung bis zum Jahr 1992 über die Tautochronen- und Wärmeleitungsmethode (Grundlage: Bodentemperatur- und Bodenfeuchtemessungen), ab 1989 über eine Bodenwärmeplatte; seit 1997 ist eine zweite Bodenwärmeplatte im Einsatz;
- ** Freilandniederschlag (Niederschlag über dem Wald):
- Niederschlagsschreiber nach Hellmann und Niederschlagsgeber HP (Ombrometer nach dem Tropfenzählerprinzip), beide Messwertgeber (von der Firma Thies) sind auf dem kleinen Messturm montiert;



Abb. 12: Drei Niederschlagsmessgeräte (in der Mitte) zur Messung des Freilandniederschla-
ges über dem Kiefernwald an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim;
links ein Ultraschallanemometer (Januar 1999)

- ** Kronendurchlass (abtropfender und durchfallender Niederschlag am Waldboden):
zwei Regenrinnen beim Waldkiefernbestand (*Pinus sylvestris*);



Abb. 13: Regenrinnen zur Messung des Kronendurchlasses im Waldkiefernbestand an der
Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (Mai 2000)

** Stammabfluss:

spiralförmige PVC-Manschetten mit Sammelgefäßen um vier Bäume beim Waldkiefernbestand (*Pinus sylvestris*) und um drei Bäume beim Schwarzkiefernbestand (*Pinus nigra*), wöchentliche Leerung der Sammelgefäße, bei einer Waldkiefer Erfassung des Stammablaufs über einen Tropfenzähler;

*** Luftdruck:

Digitalmanometer vom Typ Mikrobar M



Abb. 14: Messung des Stammabflusses von Waldkiefern (*Pinus sylvestris*) auf der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (Mai 1998)

3.3 Datenerfassung

Alle Systeme zur Datenerfassung sind in einer Holzhütte auf dem Gelände der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim untergebracht. Dort sind sie gegen Witterungseinflüsse geschützt. Im Winter wird die Holzhütte beheizt; im Sommer dient eine Klimaanlage als Schutz vor Überhitzung.

Der größte Teil der an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim erhobenen Daten wird digital registriert. Daneben werden einige Größen noch analog aufgezeichnet.

Die digitale Datenregistrierung erfolgte von 1974 bis 1990 über einen Prozeßrechner der Firma Siemens. Seit dem Jahr 1990 sind Datalogger der Firma Campbell im Einsatz.

3.3.1 Digitale Datenregistrierung

Die im zeitlichen Abstand von 30 s abgefragten Signale (Spannungs-, Strom- und Widerstandswerte) und die Ereignisimpulse der Messwertgeber auf dem großen Messturm sowie des Ombrometers auf dem kleinen Messturm gelangen über Messkabel direkt an einen Datalogger vom Typ CR23X der Firma Campbell (Abb. 15) in der Holzhütte, werden dort in meteorologische Größen umgewandelt, zu 10 Minuten-Mittelwerten aggregiert und auf der Speichereinheit des Dataloggers abgelegt. Die Kapazität der Speichereinheit ist ausreichend, um alle 10 Minuten-Mittelwerte von ca. neun Tagen aufzunehmen. Nach ca. neun Tagen wird der Speicher überschrieben. Aus diesem Grund wird die Speichereinheit wöchentlich ausgetauscht.

Datalogger der Firma Campbell (früher eingesetzter Typ 21X) haben sich als äußerst zuverlässig erwiesen. So gab es in den Jahren 1997 und 1998 keinen Datenausfall aufgrund der Registrierung. Im Jahresschnitt liegt der durch den Datalogger bedingte Datenverlust unter 3%.

Seit dem Jahr 1992 werden die 10 Minuten-Mittelwerte zusätzlich über ein Modem täglich abgerufen und an einen PC im Meteorologischen Institut der Universität Freiburg übertragen.



Abb. 15: Datalogger vom Typ CR23X der Firma Campbell zur Datenerfassung auf der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim

3.3.2 Analoge Datenregistrierung

Auf einem Multireg-Schreiber wurden bis zum Jahr 2000 ergänzend erfasst:

- ** Bodentemperaturen,
- ** Kronendurchlass beim Waldkiefernbestand (*Pinus sylvestris*).

In der großen genormten Wetterhütte auf dem Gelände der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim werden die über einen Thermohygrographen gemessene Lufttemperatur und relative Luftfeuchtigkeit auf einem Streifen um die Trommel registriert. Die mit einer Windfahne erfaßte Windrichtung wird auf einem Wachspapierschreiber in der Holzhütte aufgezeichnet.

Die analog registrierten Daten werden - bis auf die Strahlungsdaten (haben nur Kontrollfunktion) - nach dem Eingang der Rollen bzw. Streifen ausgewertet und auf EDV-gerechten Datenträger gebracht.

3.4 Wartungs- und Kalibrierarbeiten

Die kontinuierlichen Routinemessungen an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim erfordern einen großen Wartungsaufwand. Zwei technische Mitarbeiter des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg führen wöchentlich zweimal - meistens am Montag und Donnerstag - die notwendigen Wartungsarbeiten an dieser Messstelle durch. Bei Bedarf, z.B. bei Messwertgeberausfall oder Montagearbeiten, wird die Messstelle häufiger aufgesucht. Temporäre Intensivmesskampagnen machen eine permanente Anwesenheit der technischen Mitarbeiter an dieser Messstelle erforderlich.

Die an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim eingesetzten Messwertgeber werden in regelmäßigen Abständen kalibriert. Diese Arbeiten werden im Meteorologischen Institut der Universität Freiburg (Pt 100), im Windkanal des Institutes für Meteorologie und Klimaforschung der Universität Karlsruhe (Schalenkreuzanemometer) und bei anderen Institutionen (sonstige Messwertgeber) durchgeführt.

Ohne den unermüdlichen Einsatz der technischen Mitarbeiter wäre der Betrieb der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim nicht möglich. Ihre Erfahrungen im Betrieb von komplexen meteorologischen Messwertgebern und Datenerfassungseinheiten im Freiland machen sie zu unentbehrlichen, hochgradigen Spezialisten.

3.5 Datenprüfung

Der langfristige Betrieb einer so umfassenden Freilandmessstelle wie der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim ist nur dann sinnvoll, wenn die erhobenen Daten ohne zeitliche Verzögerung geprüft werden. Nur dadurch lassen sich Messfehler weitgehend eliminieren und Lücken in den Zeitreihen der Messgrößen stark reduzieren.

Bei der Prüfung und eventuellen Korrektur der an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim anfallenden großen Datenmengen bedient man sich heute EDV-gestützter Methoden. Diese Arbeit lastet einen wissenschaftlichen Mitarbeiter vollzeitlich aus.

3.6 Datenarchivierung

Die an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim gemessenen Daten werden in folgender Weise archiviert. Analog registrierte Daten werden in Listen ausgewertet; ihre Inhalte werden meistens als Stundenwerte in den PC eingegeben und abgespeichert. Zusammen mit den durch die Datalogger erfassten und bereits in elektronischer Form vorliegenden Messwerten werden sie auf DAT-Kassetten (Digital Audio Tape) im Meteorologischen Institut der Universität Freiburg archiviert. Da die Dateien parallel auf Plattenlaufwerken vorliegen, wird auch eine nächtliche automatische Sicherung durch das Rechenzentrum der Universität Freiburg vorgenommen.

Bei den gespeicherten Daten handelt es sich um Messwerte, die während des gesamten Zeitraums laufend mit den jeweils zur Verfügung stehenden Möglichkeiten kontrolliert und überprüft worden sind. Derzeit sind alle Datensätze von den forstmeteorologischen und forsthydrometeorologischen Dauermessungen an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim in eine Datenbank (MS ACCESS) importiert. Sie werden dort über Fehlerabfragen geprüft, entsprechend korrigiert und anschließend „endgültig.“ in ACCESS abgelegt. Dieses Endprodukt wird weiterhin über einen CD-Brenner auf CDs archiviert.

4. Exemplarische Ergebnisse

In Tab. 5 sowie in den Abb. 16 bis 33 sind exemplarische Ergebnisse von Untersuchungen zusammengestellt, die an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim durchgeführt wurden. Sie beziehen sich auf

- ** die Windrichtungsbedingungen in ca. 15 m Höhe über dem Kiefernwald an dieser Messstelle,
- ** langfristige Energieflüsse des dortigen Kiefernwaldes,
- ** langfristige energetische Unterschiede (Strahlungsflüsse) zwischen einem Kiefernwald (Forstmeteorologische Messstelle Hartheim) und einer Grasfläche (Hamburg),
- ** energetische Unterschiede zwischen einem Kiefernwald (Forstmeteorologische Messstelle Hartheim) und einer nahen Graslandfläche (Bremgarten), die im Rahmen von REKLIP für die Jahre 1992 bis 1995 analysiert wurden,
- ** langfristige Kenngrößen des Wasserhaushalts des dortigen Kiefernwaldes.

Tab. 5: Mittelwerte von Globalstrahlung G , kurzwelliger Reflexstrahlung R_k , kurzwelliger Albedo a , langwelliger Ausstrahlung E , atmosphärischer Gegenstrahlung A und Strahlungsbilanz R_n an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg (Waldkiefer, *Pinus sylvestris* L.) im Sommermonat Juni und Wintermonat Dezember sowie im Jahr; Zeitraum: 1974 bis 1993 (aus Kessler und Jaeger, 1999)

	Juni	Dezember	Jahr
G (W/m^2)	234.4	31.6	131.5
R_k (W/m^2)	-22.0	-3.8	-13.3
a (%)	9.4	12.0	10.1
E (W/m^2)	-403.4	-323.0	-365.9
A (W/m^2)	358.2	294.9	327.9
R_n (W/m^2)	167.2	-0.3	80.2

Forstmeteorologische Meßstelle Hartheim
30 m Höhe über Grund ($z/H = 2.1$), 1996 - 1998

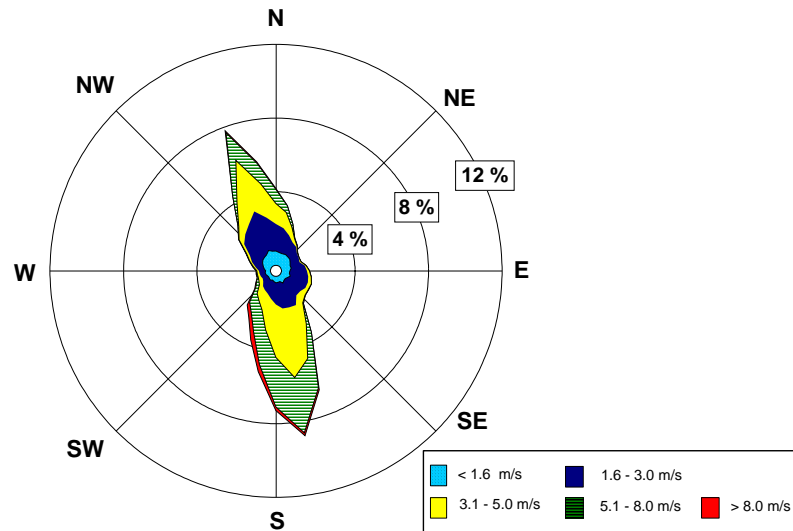


Abb. 16: Windrosen für verschiedene Bereiche der Windgeschwindigkeit an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (*Pinus sylvestris* L.) des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg

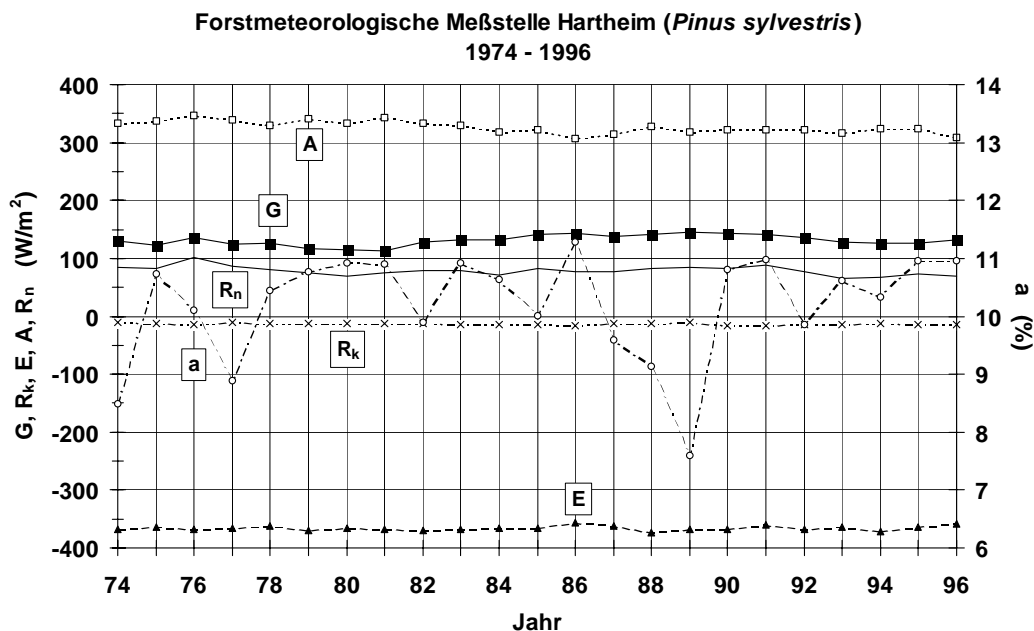


Abb. 17: Jahresmittelwerte von Globalstrahlung G , kurzweiliger Reflexstrahlung R_k , kurzweiliger Oberflächenalbedo a , langweiliger Ausstrahlung E , atmosphärischer Gegenstrahlung A und Strahlungsbilanz R_n des Kiefernwaldes (*Pinus sylvestris* L.) an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg im Zeitraum 1974 bis 1996 (nach Kessler und Jaeger, 1999)

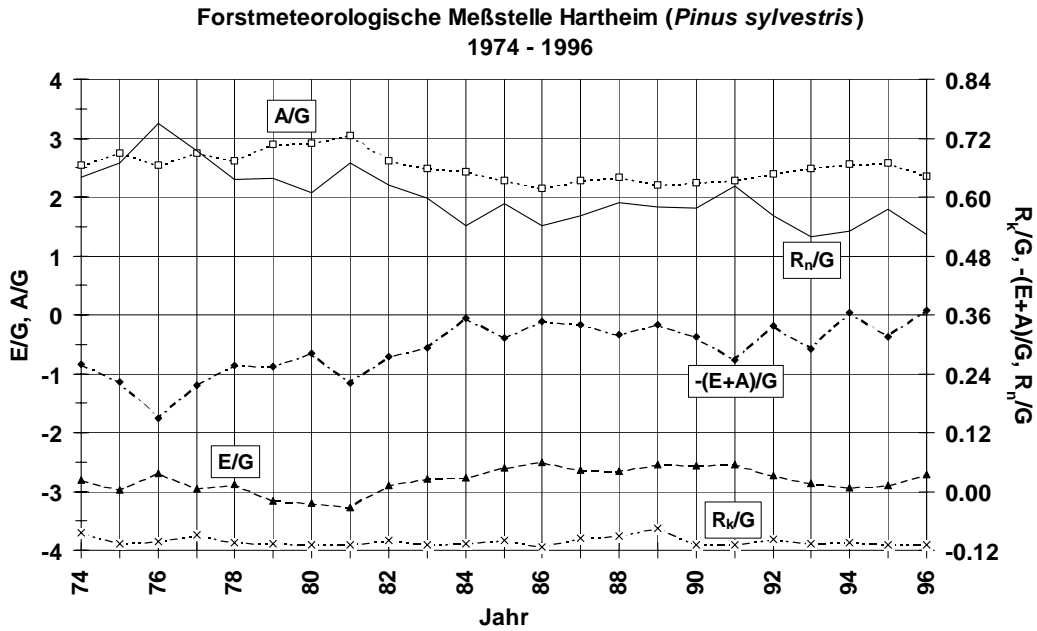


Abb. 18: Jahresmittelwerte der normierten Strahlungsflüsse R_k/G , E/G , A/G , $-(E+A)/G$ und R_n/G des Kiefernwaldes (*Pinus sylvestris* L.) an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg im Zeitraum 1974 bis 1996 (nach Kessler und Jaeger, 1999)

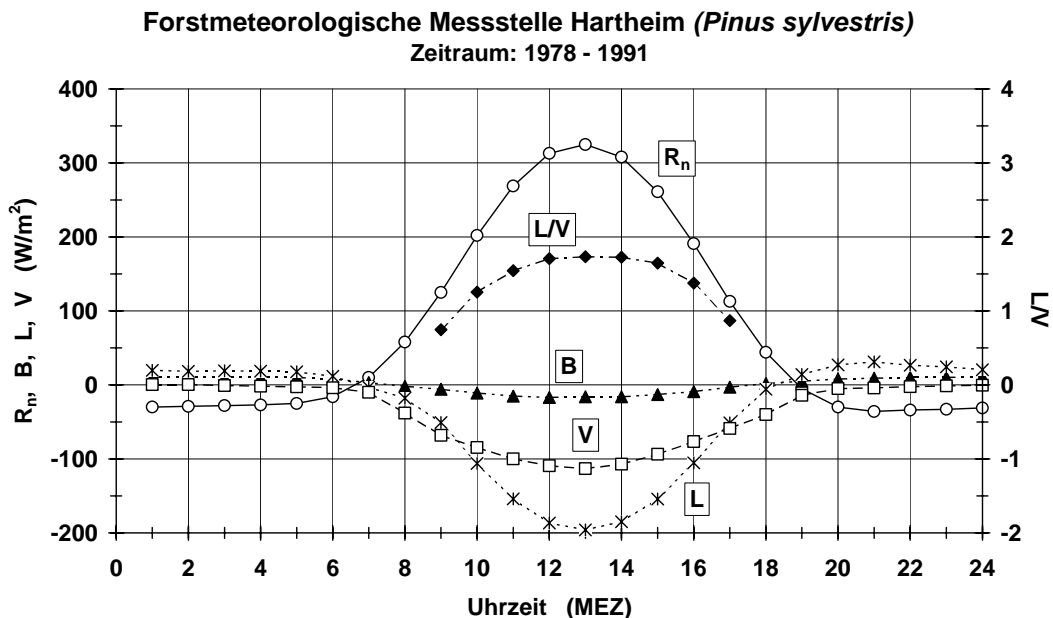


Abb. 19: Mittlere Tagesgänge von Strahlungsbilanz R_n , Bestandes-Bodenwärmestrom B , turbulentem Strom fühlbarer Wärme L , turbulentem Strom latenter Wärme V und Bowen-Verhältnis L/V des Kiefernwaldes (*Pinus sylvestris* L.) an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg; Grundlage: Stundenmittelwerte im Zeitraum von 1978 bis 1991 (nach Jaeger, 1993)

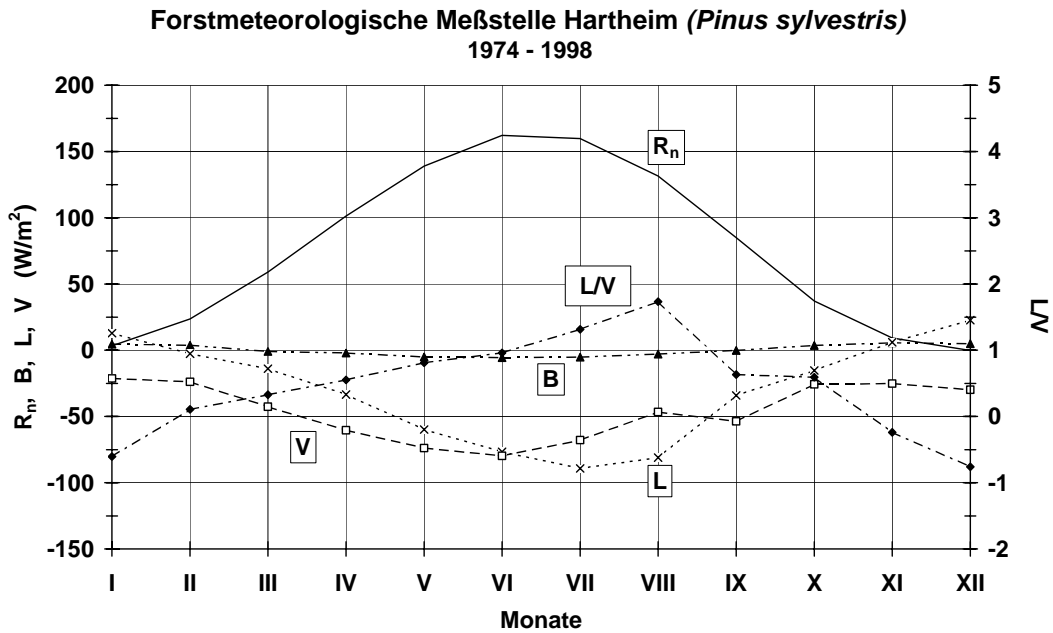


Abb. 20: Mittlere Jahrgänge von Strahlungsbilanz R_n , Bestandes-Bodenwärmestrom B , turbulentem Strom fühlbarer Wärme L , turbulentem Strom latenter Wärme V und Bowen-Verhältnis L/V des Kiefernwaldes (*Pinus sylvestris* L.) an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg (Grundlage: Monatsmittelwerte im Zeitraum von 1974 bis 1998)

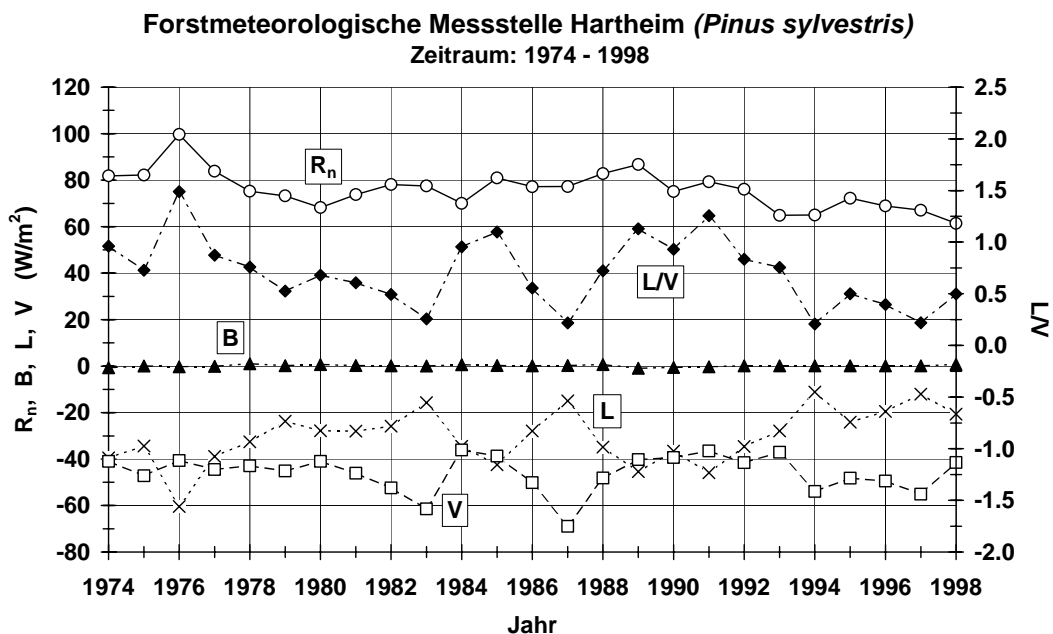


Abb. 21: Jahresmittelwerte von Strahlungsbilanz R_n , Bestandes-Bodenwärmestrom B , turbulentem Strom fühlbarer Wärme L , turbulentem Strom latenter Wärme V und Bowen-Verhältnis L/V des Kiefernwaldes (*Pinus sylvestris* L.) an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg im Zeitraum 1974 bis 1998

Forstmeteorologische Messstelle Hartheim (*Pinus sylvestris* L.)
 Jahresmittelwerte der Terme der Energiebilanzgleichung $R_n + B + L + V = 0$
 Zeitraum: 1978 -1991

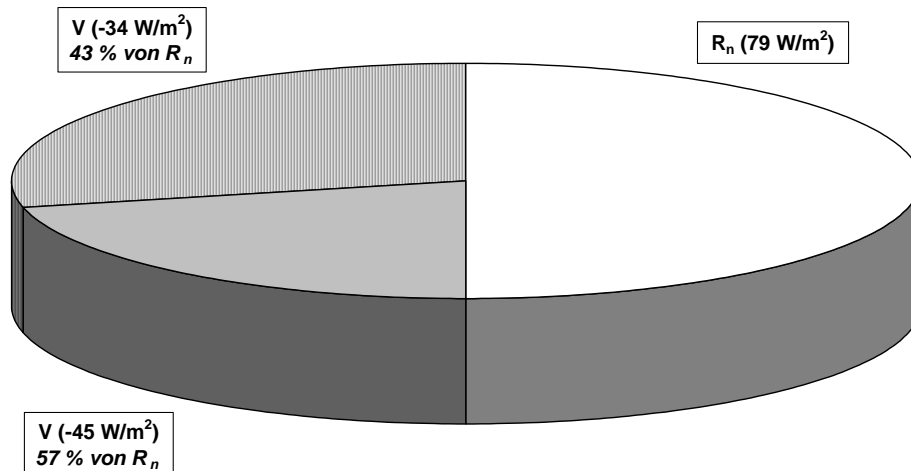


Abb. 22: Jahresmittelwerte von Strahlungsbilanz R_n , Bodenwärmestrom B , turbulentem Strom fühlbarer Wärme L und turbulentem Strom latenter Wärme V des Kiefernwaldes (*Pinus sylvestris* L.) an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg im Zeitraum von 1978 bis 1991 (nach Jaeger, 1993)

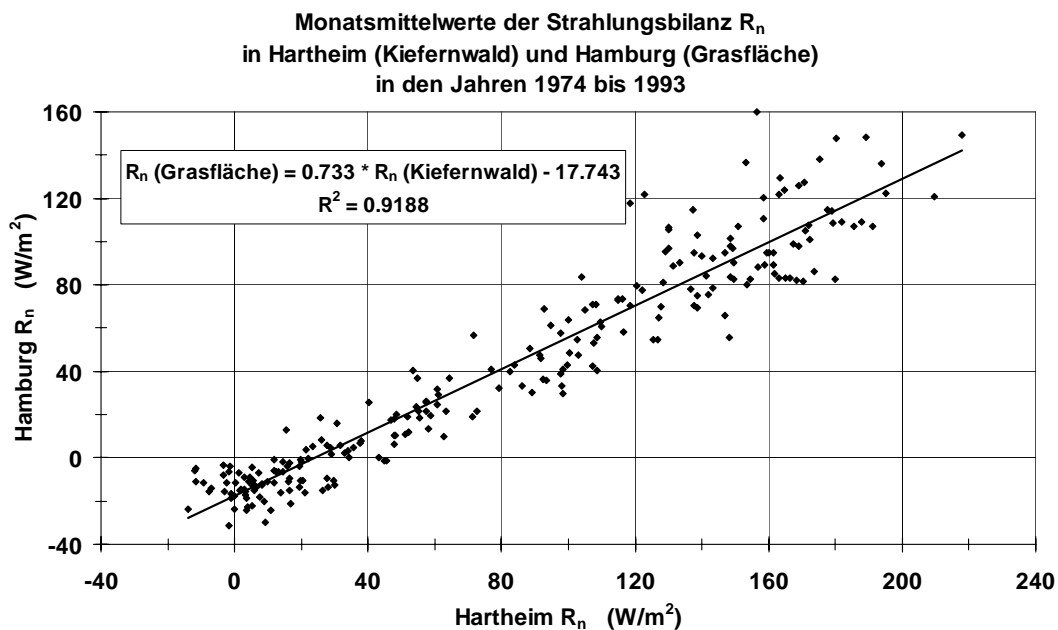


Abb. 23: Strahlungsbilanz R_n (Monatsmittelwerte) an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (Kiefernwald, *Pinus sylvestris* L.) und in Hamburg (Grasfläche) im Zeitraum 1974 bis 1993 (nach Kessler und Jaeger, 1999)

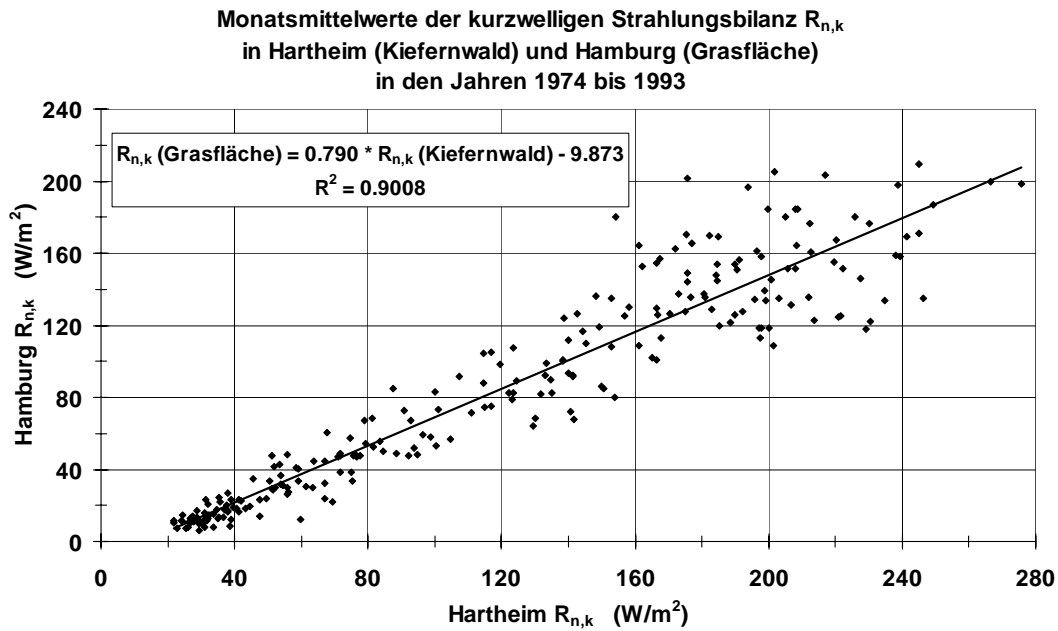


Abb. 24: Kurzwellige Strahlungsbilanz $R_{n,k}$ (Monatsmittelwerte) an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (Kiefernwald, *Pinus sylvestris* L.) und in Hamburg (Grasfläche) im Zeitraum 1974 bis 1993 (nach Kessler und Jaeger, 1999)

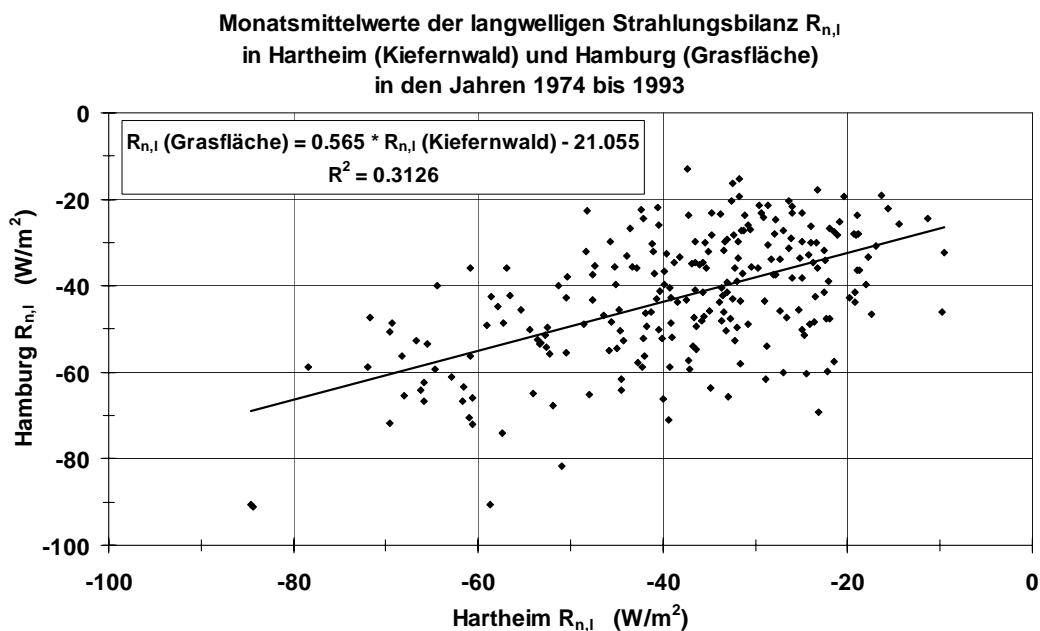


Abb. 25: Langwellige Strahlungsbilanz $R_{n,l}$ (Monatsmittelwerte) an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (Kiefernwald, *Pinus sylvestris* L.) und in Hamburg (Grasfläche) im Zeitraum 1974 bis 1993 (nach Kessler und Jaeger, 1999)

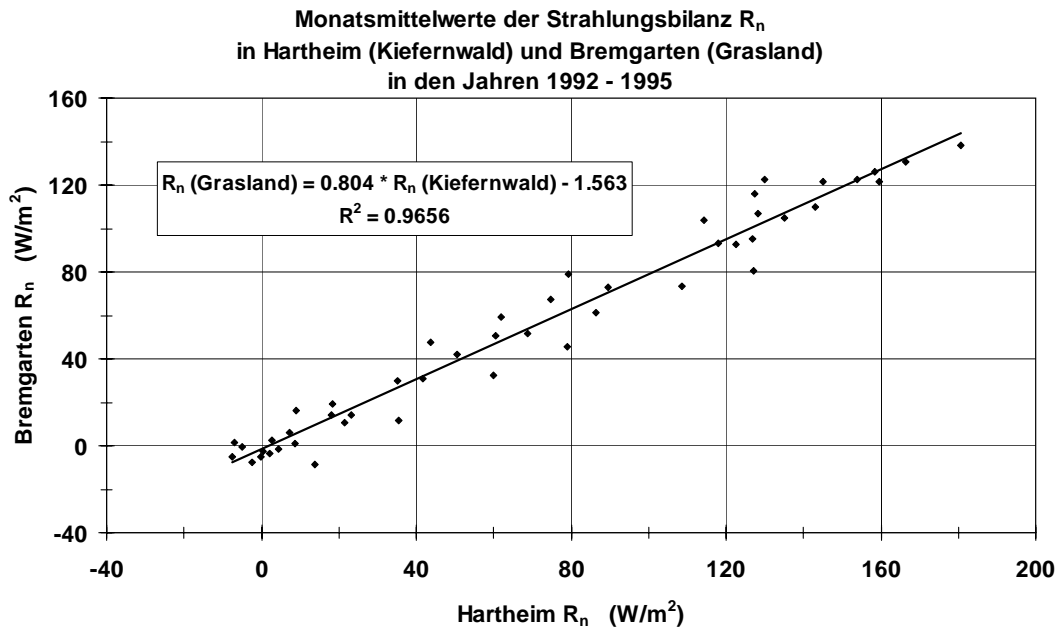


Abb. 26: Strahlungsbilanz R_n an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (Kiefernwald, *Pinus sylvestris* L.) und im nahe Bremgarten (Grasland) im Zeitraum 1992 bis 1995

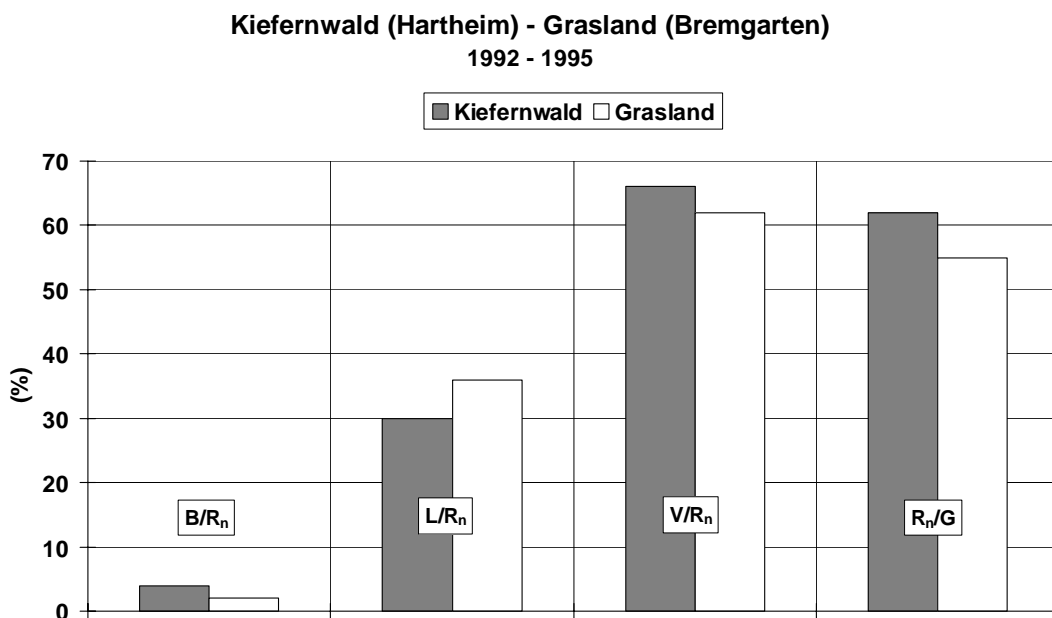


Abb. 27: Mittelwerte von Bodenwärmestrom B , turbulentem Strom fühlbarer Wärme L und turbulentem Strom latenter Wärme V , normiert jeweils mit der Strahlungsbilanz R_n , sowie von Strahlungsbilanz R_n , normiert mit der Globalstrahlung G , für einen Kiefernwald (Forstmeteorologische Messstelle Hartheim, *Pinus sylvestris* L.) und eine nahe Graslandfläche (Bremgarten) im Zeitraum 1992 bis 1995

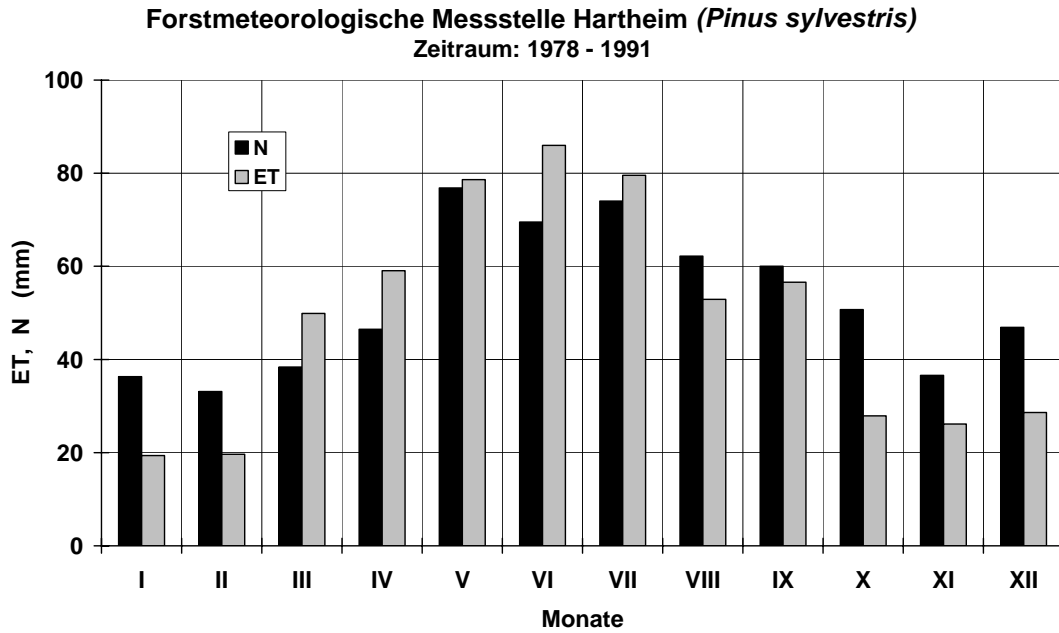


Abb. 28: Mittlere Monatssummen von Freilandniederschlag N und Verdunstung (Evapotranspiration) ET an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (*Pinus sylvestris* L.) des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg im Zeitraum 1978 bis 1991

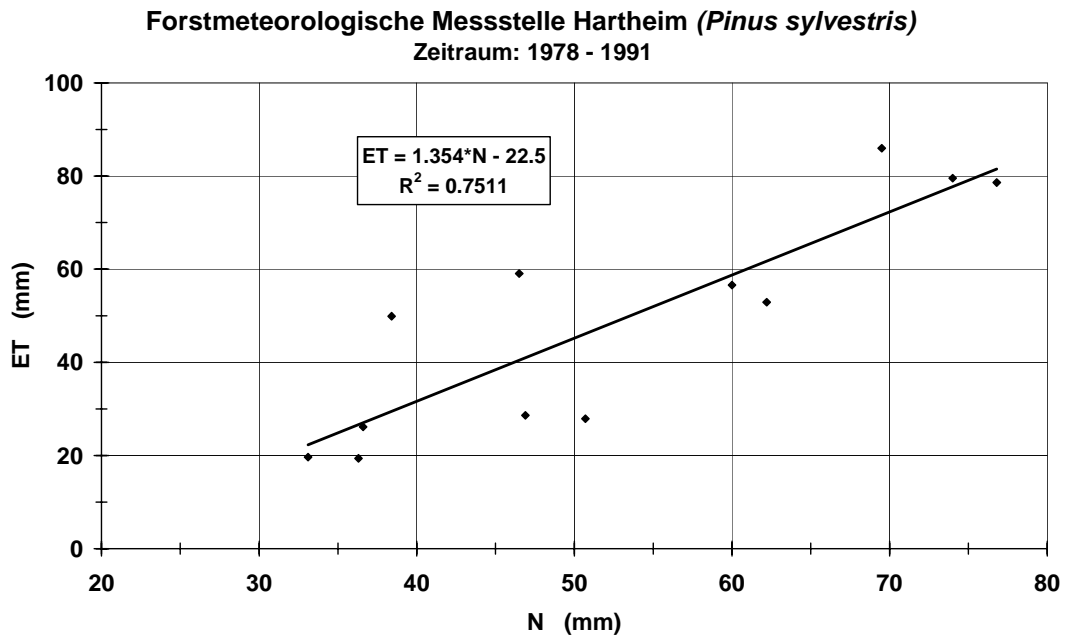


Abb. 29: Mittlere Monatssummen der Verdunstung (Evapotranspiration) ET in Abhängigkeit von mittleren Monatssummen des Freilandniederschlags N an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (*Pinus sylvestris* L.) des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg im Zeitraum 1978 bis 1991

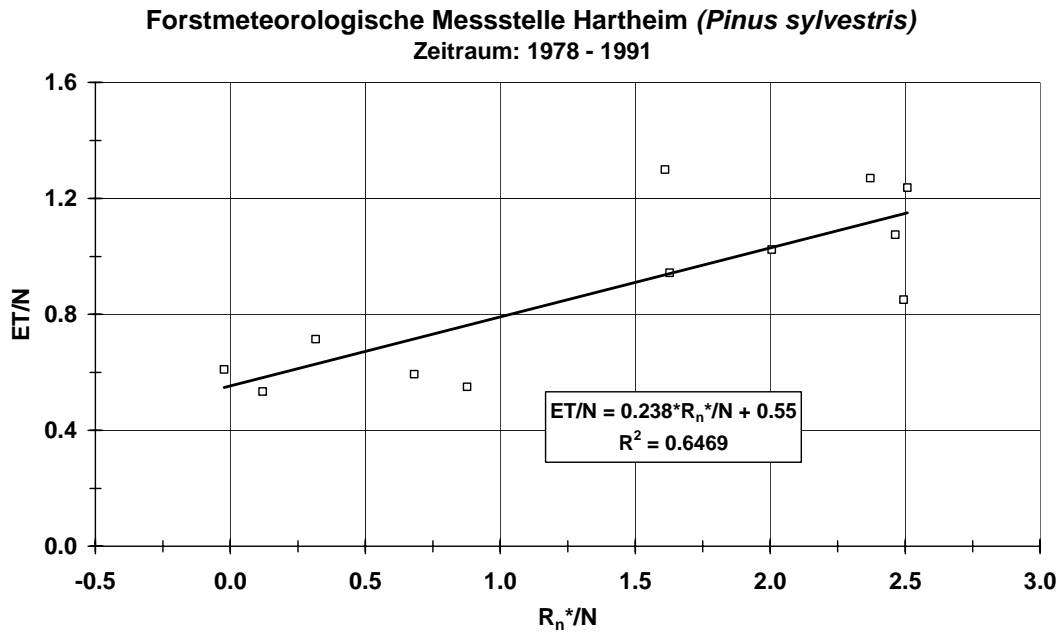


Abb. 30: Mittlere Monatsmittelwerte der Verdunstung (Evapotranspiration) ET in Abhängigkeit von mittleren Monatssummen des Verdunstungsäquivalents der Strahlungsbilanz R_n^* , jeweils normiert mit mittleren Monatssummen des Freilandniederschlags N , an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (*Pinus sylvestris* L.) des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg im Zeitraum 1978 bis 1991

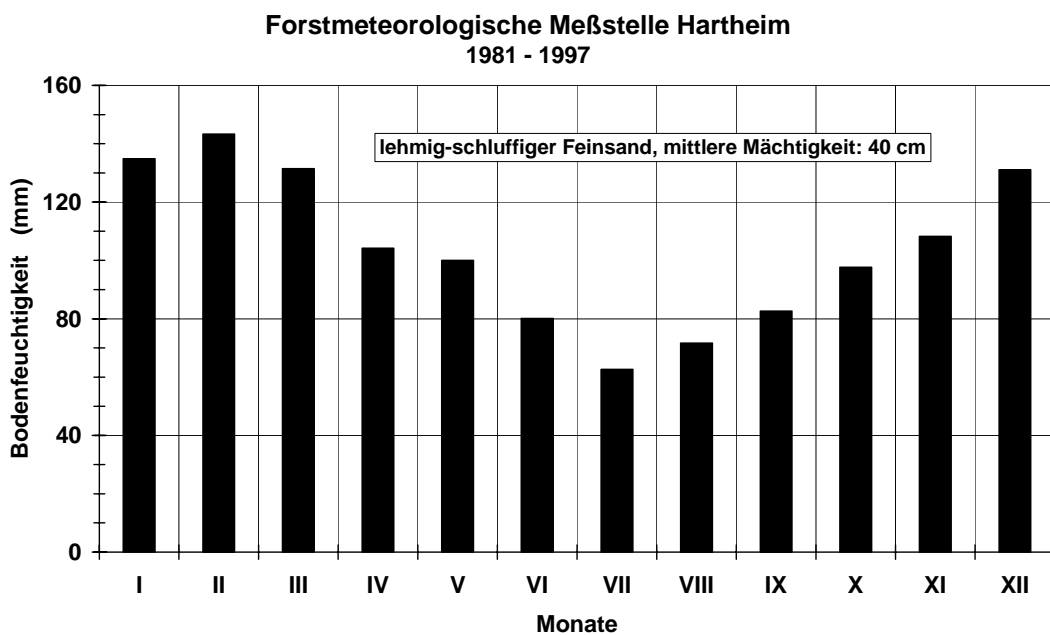


Abb. 31: Mittlerer Jahrgang der Bodenfeuchtigkeit an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim (*Pinus sylvestris* L.) des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg im Zeitraum 1981 bis 1997

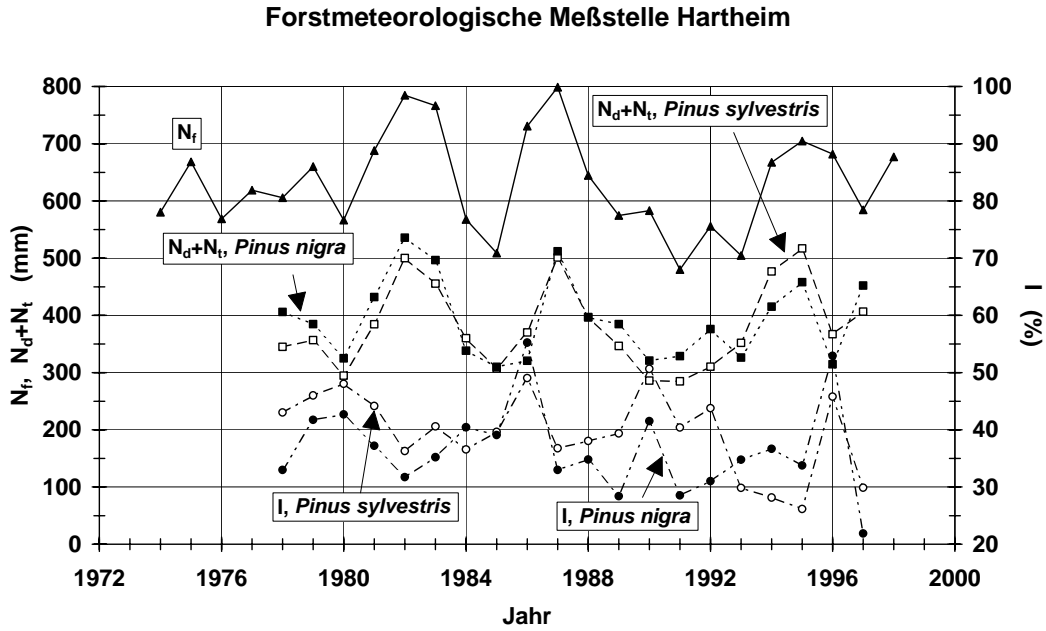


Abb. 32: Jahressummen von Freilandniederschlag N_f und Kronendurchlass N_d+N_t sowie Jahresmittelwerte der relativen Interzeption I bei *Pinus sylvestris* L. und *Pinus nigra* L. auf der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg

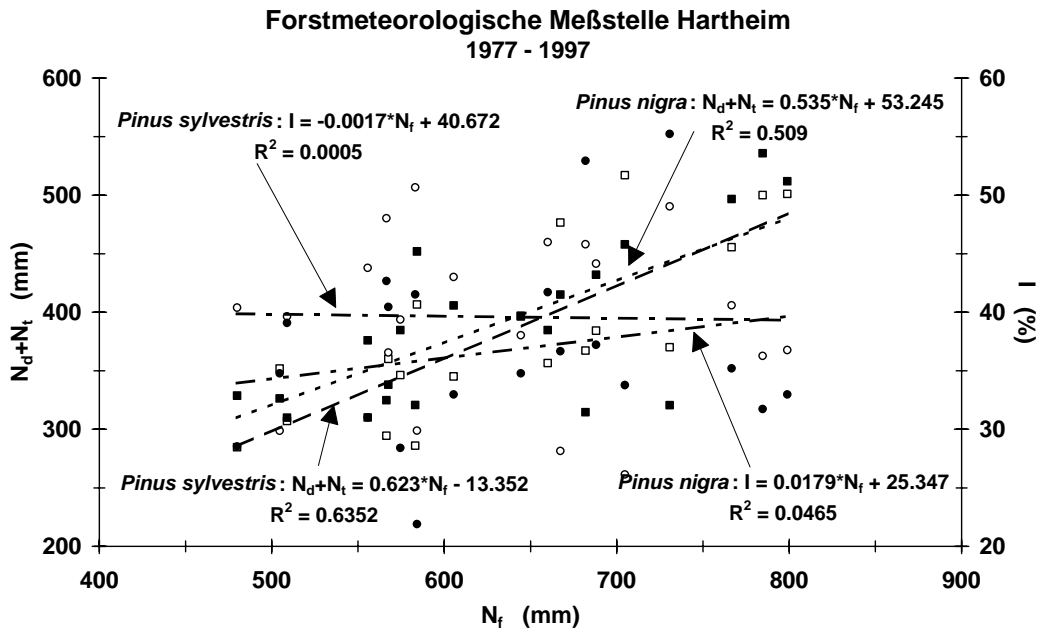


Abb. 33: Jahressummen des Kronendurchlasses N_d+N_t und Jahresmittelwerte der relativen Interzeption I in Abhängigkeit von den Jahressummen des Freilandniederschlags N_f bei *Pinus sylvestris* L. und *Pinus nigra* L. auf der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg

5. Literatur

- Biron, P., 1994: Le cycle de l'eau en forêt de moyenne montagne: Flux de sève et bilans hydriques stationnels (Bassin versant du Strengbach à Aubure Haute-Vosges). Diss. UFR de Géographie, Louis-Pasteur-Universität Strasbourg.
- Fiedler, F., 1995: REKLIP-Klimaatlas Oberrhein Mitte-Süd. Verlagsgesellschaft: vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Institut für angewandte Geowissenschaften Offenburg, Edition Copur Strasbourg.
- Genser, H., 1992: Geologischer Abriß über die Vorbergzone des südöstlichen Oberrheingebietes. Freiburger Geographische Hefte 36, 25-55.
- Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, 1981: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Freiburg im Breisgau und Umgebung 1 : 50 000. Stuttgart.
- Geyer, O.; Gwinner, M., 1991: Geologie von Baden-Württemberg. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Hädrich, F.; Stahr, K., 1992: Die Böden in der Umgebung von Freiburg i. Br. Freiburger Geographische Hefte 36, 129-195.
- Jaeger, L., 1978: Die klimatologische Meßstation Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg. Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i.Br. **68**, 47-73.
- Jaeger, L., 1993. Klimatologie des Wärmehaushalts eines Kiefernwaldes in der südlichen Oberrheinebene. Habilitationsschrift, Geowiss. Fak. Univ. Freiburg.
- Jaeger, L.; Kessler, A., 1996: The HartX period May 1992, seen against the background of twenty years of energy balance climatology at the Hartheim pine plantation. Theor. Appl. Climatol. **53**, 9-21.
- Jaeger, L.; Kessler, A., 1997: Twenty years of heat and water balance climatology at the Hartheim pine forest, Germany. Agric. Forest Meteorol. **84**, 25-36.
- Jaeger, L.; Mayer, H.; Fritsch, J., 1999: Vergleichende Bestimmung der Verdunstung von Wäldern am südlichen Oberrhein und im Schwarzwald. Wiss. Mitt. Inst. Meteor. Univ. Leipzig u. Inst. Troposphärenforsch. Leipzig, Band 16, 91-101.
- 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.
- Kessler, A.; Müller, R.; Jaeger, L., 1988: Der Wasserhaushalt eines Kiefernwaldes und Wechselwirkungen mit dem Energiehaushalt. Erdkunde **42**, 177-188.
- Kohler, M.; Matzarakis, A.; Mayer, H., 1999: Turbulenter Luftmassenaustausch über einem Kiefernwald. Annal. Meteorol. Nr. 39, 51-53.
- Köppen, W., 1923: Die Klimate der Erde - Grundriß der Klimakunde. Berlin, Walter de Gruyter Verlag.
- Kunz, E., 1987: Von der Tulla'schen Rheinkorrektur bis zum Oberrheinausbau - 150 Jahre Eingriff in ein Naturstromregime. In: Führer durch Natur- und Landschaftsschutzgebiete Baden-Württembergs (Hrsg.: Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg), Nr. 2: Naturschutzgebiet Limberg am Kaiserstuhl, 193-217.
- Meynen, E.; Schmithüsen, J., 1962: Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung, Bad Godesberg.

- Reif, A., 1996: Vegetation der Trockenaue am Oberrhein zwischen Müllheim und Breisach. Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i.Br., **84/85**, 81-150.
- Schäfer, G., 1977: Nährelementhaushalt von Kiefernjungbeständen in der südlichen Oberrheinebene. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen Nr. 7.
- Sturm, N., 1998: Steuerung, Skalierung und Umsatz der Wasserflüsse im Hartheimer Kiefernforst (*Pinus sylvestris* L.). Bayreuther Forum Ökologie, Band 63.
- Trüby, P., 1983: Elementumsatz in einer bewässerten Pararendzina der südlichen Oberrheinebene unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetalle. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen Nr. 12.
- Wedler, M.; Geyer, R.; Heindl, B.; Hahn, S.; Tenhunen, J.D., 1996: Model-based estimates of water loss from „patches„ of the understory mosaic of the Hartheim Scots pine plantation. Theor. Appl. Climatol. **53**, 135-144.

6. Arbeiten zur Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg

- Ahrens, D.; Iziomon, M.G.; Jaeger, L.; Matzarakis, A.; Mayer, H., 2001: Impacts of the solar eclipse of 11 August 1999 on routinely recorded meteorological and air quality data in south-west Germany. *Meteorologische Zeitschrift* **10**, 215-223.
- Andris, K.; Saumer, F.; Trillmich, F., 1970: Beobachtungen an Schlafplätzen der Kornweihe (*Circus cyaneus*) in der Oberrheinebene. *Die Vogelwelt* **91**, 184-191.
- Bernhofer, Ch.; Blanford, J.H.; Siegwolf, R.; Wedler, M., 1996: Applying single and two layer models to derive conductances of a Scots pine plantation from micrometeorological measurements. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 95-104.
- Bernhofer, Ch.; Gay, L.W.; Granier, A.; Joss, U.; Kessler, A.; Köstner, B.; Siegwolf, R.; Tenhunen, J.D.; Vogt, R., 1996: The HartX-synthesis: an experimental approach to water and carbon exchange of a Scots pine plantation. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 173-182.
- Brake, C., 1992: Komponenten des Waldniederschlags. Analyse langjähriger Messungen an einem Kiefernwald in der Oberrheinebene. *Dipl. Arb. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg.*
- Butz, H., 1984: Das thermische Milieu eines jungen Kiefernbestandes in der Rheinaue bei Hartheim unter besonderer Berücksichtigung der Strahlungstemperaturen verschiedener Oberflächen. *Dipl. Arb. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg.*
- Callau Berenguer, S., 1997: Wasserhaushalt eines Kiefernwaldes in der Oberrheinebene. *Dipl. Arb. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg.*
- Czeplak, G.; Behr, H.-D.; Kessler, A.; Jaeger, L.; Parlow, E., 1995: Strahlung und Sonnenscheindauer. In: REKLIP Klimaatlas Oberrhein Mitte-Süd, Textband, 148-179.
- Ernst, S.; Wüthrich, M., 1996: Spatial characteristics of surface and atmospheric properties during HartX. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 59-68.
- Fiedler, F.(Hrsg.), 1995: Klimaatlas Oberrhein Mitte-Süd, Atlas climatique du fossé Rhéna méridional. Atlas und Textband, Zürich, Offenbach, Straßburg.
- Garthe, H.-J., 1985: Über das langjährige Verhalten der Energiehaushaltskomponenten eines mitteleuropäischen Kiefernwaldes. *Diss. Geowiss. Fak. Univ. Freiburg.*
- Garthe, H.-J.; Jaeger, L.; Kessler, A., 1985: Langzeitmessungen zum Strahlungs- und Energiehaushalt eines Kiefernwaldes. *Tagungsbericht Symp. Wald und Wasser, 2.-5. Sep. 1984, Grafenau, Wald und Wasser, Nationalpark Bayerischer Wald, 31-41.*
- Garthe, H.-J.; Jaeger, L.; Kessler, A., 1986: Untersuchung über die Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Biosphäre aufgrund von Langzeitmessungen des Strahlungs-, Energie- und Wasserhaushaltes eines Kiefernwaldes. *BMFT-Schlußbericht (513 - 8391 - Kf30048).*
- Garthe, H.-J.; Jaeger, L.; Kessler, A., 1986: L'Evapotranspiration, une quantité du bilan énergétique. Une étude à long terme au sujet d'une pinède dans la plaine du Rhin supérieur. *Premier colloque scientifique des universités du Rhin supérieur „Recherches sur l'environnement dans la région,,*, Tagungsband, 664-675.
- Gay, L.W., Vogt, R.; Bernhofer, Ch.; Blanford, J.H., 1996: Flux agreement above a Scots pine plantation. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 33-48.
- Gay, L.W., Vogt, R.; Kessler, A., 1996: The May-October energy budget of a Scots pine plantation at Hartheim, Germany. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 79-94.

- Granier, A., Biron, P.; Köstner, B.; Gay, L.W.; Najjar, G., 1996: Comparisons of xylem sap flow and water vapour flux at the stand level and derivation of canopy conductance for Scots pine. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 115-122.
- Hädrich, F., 1979: Landschaftsentwicklung, Bodenbildung, Wasser- und Nährstoffhaushalt in der Rheinaue bei Hartheim. *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* **28**, 255-262.
- Hädrich, F., 1979: Der Wasserhaushalt einer Zweischicht-Pararendzina unter Kiefernjungbeständen im Trockengebiet am südlichen Oberrhein. *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* **29**, 149-158.
- Hädrich, F., 1979: Bodenwasserhaushalt unter Kiefernbeständen im oberrheinischen Trockengebiet. *AFZ*, 1288.
- Hädrich, F.; Hildebrand, E., 1973: Untersuchungen zur Methodik der Bodenfeuchtebestimmung: II. Mitteilung: Methodik der Geländekalibrierung einer Dichte-Feuchte-Sonde auf fünf verschiedenen Waldstandorten im Oberrheingebiet. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* **144**, 102-111.
- Hädrich, F.; Tajchman, S., 1972: Untersuchungen zur Methodik der Bodenfeuchtebestimmung. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* **143**, 187-192.
- Hädrich, F.; Moll, W.; Stahr, K., 1979: Böden. *Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* **29**, 245-291.
- Heiden, A.C.; Kobel, K.; Komenda, M.; Koppmann, R.; Shao, M., 1999: Toluene emissions from plants. *Geoph. Res. Letters* **26**, 1283-1286.
- Heiderich, S.U., 1989: Die Bedeutung und Verwendung von Blattflächenindex und Blattflächendichte unter besonderer Berücksichtigung der Forstmeteorologie, nebst einer praktischen Bestimmung dieser Größen in einem Kiefern-Bestand (*Pinus sylvestris* L.). *Dipl. Arb. Geowiss. Fak. Univ. Freiburg*.
- Jaeger, L., 1978: Die klimatologischen Meßstation Hartheim des Meteorologischen Instituts der Universität Freiburg i.Br. *Ber. Naturf. Ges. Freiburg* **68**, 47-73.
- Jaeger, L., 1980: Prozessrechner in der Mikroklimatologie, *Siemens Energietechnik* **2**, 16-18.
- Jaeger, L., 1980: Process computers in microclimatology. *Siemens Power Engineering* **2**, 72-74.
- Jaeger, L., 1981: Radiation measurements of the department of meteorology of Freiburg University during the experimental stage of MESOKLIP. *Meteorol. Rdsch.* **34**, 97-105.
- Jaeger, L., 1984: Zehn Jahre Niederschlagsmessungen über einem Kiefernbestand im angehenden Stangenholzalter. *Wetter und Leben* **36**, 149-158.
- Jaeger, L., 1984: Climatology of wind profile parameter estimates above a growing pine forest. *Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B*, **34**, 161-179.
- Jaeger, L., 1985: Estimations of surface roughnesses and displacement heights above a growing pine forest from wind profile measurements over a period of ten years. In: Hutchison, B.A. & B.B. Hicks (eds.), *The Forest-Atmosphere Interaction*, Reidel, Dordrecht, Boston, Lancaster, 71-90.
- Jaeger, L., 1986: Eleven years of precipitation measurements above a small pole wood pine stand. In: B. Sevruck (ed.): *Correction of Precipitation Measurements*. *Zürcher Geographische Schriften* No. 23, 101-103.
- Jaeger, L., 1986: Klimatologie von Niederschlagsmessungen zur Bestimmung des Freilandniederschlags über einem Kiefernwald. *Ber. Naturf. Ges. Freiburg i.Br.* **76**, 87-100.

- Jaeger, L., 1996/1997: Der Hartheimer Kiefernwald als klimatologische Datenquelle. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. **86/87**, 1-20.
- Jaeger, L., 1999: Die präzise Bestimmung der Komponenten des Waldniederschlages als Grundlage der Stoffhaushaltsbestimmung. Freiburger Forstl. Forsch., Heft 7, 83-91.
- Jaeger, L.; Kessler, A., 1980: Langzeitmessungen der Strahlungsbilanz und ihrer Komponenten über einem Kiefernbestand der südlichen Oberrheinebene. Allg. Forst- u. Jagdz. **151**, 210-218.
- Jaeger, L.; Kessler, A., 1994: Components of the heat balance of the Hartheim Scots pine plantation with respect to twenty years of energy balance climatology. Proc. 21st Conf. Agr. Forest Meteorol. Amer. Meteorol. Soc., San Diego, 179-180.
- Jaeger, L.; Kessler, A., 1996: The HartX-period 1992, seen against the background of twenty years of energy balance climatology at the Hartheim pine plantation. Theor. Appl. Climatol. **53**, 9-22.
- Jaeger, L.; Kessler, A., 1997: Twenty years of heat and water balance climatology at the Hartheim pine forest, Germany. Agric. Forest Meteorol. **84**, 25-36.
- Jaeger, L.; Kessler, A., 1997: Premiers résultats de mesures microclimatique à long terme dans une pinède du fossé Rhénan. Publ. Ass. Int. Climatol. **9**, 332-340.
- Jaeger, L.; Holzkämper, St., 2000: Die Bestimmung der Evapotranspiration mit mikrometeorologischen und tracerhydrologischen Methoden am Beispiel eines Kiefernwaldes am südlichen Oberrhein. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 5, 85-95.
- Jaeger, L.; Garthe, H.-J.; Kessler, A., 1986: The climatological site Hartheim, its philosophy, design and experimental results. Freiburger Geographische Abhandlungen, Heft 26, 189-199.
- Jaeger, L.; Mayer, H.; Fritsch, J., 1999: Vergleichende Bestimmung der Verdunstung von Wäldern am südlichen Oberrhein und im Schwarzwald. Wiss. Mitt. Inst. Meteor. Univ. Leipzig u. Inst. Troposphärenforsch. Leipzig, Band 16, 91-101.
- Jaeger, L.; Kessler, A.; Hug, G.; Murzeau, E.; Unger, C., 1991: Das badisch-elsässische Globalstrahlungsnetz (Ein französisch-deutsches Gemeinschaftsprojekt) (zweisprachig). Ber. Naturf. Ges. Freiburg **79**, 43-59.
- Joss, U., 1996: Mikrometeorologie, Profile und Flüsse von CO₂, H₂O, NO₂ und O₃ in zwei mitteleuropäischen Nadelwäldern. Stratus Nr. 4.
- Joss, U.; Graber, W.K., 1996: Profiles and simulated exchange of H₂O, O₃, NO₂ between the atmosphere and the HartX Scots pine plantation. Theor. Appl. Climatol. **53**, 157-172.
- Kändler, G., 1986: Die Ermittlung von Bestandsparametern als Eingangsgrößen für Interzeptionsmodelle mit Hilfe aerophotogrammetrischer Verfahren. Mitt. Forstl. Versuchs- u. Forschungsanst. Bad.-Württ. Freiburg i.Br. Nr. 127.
- Keding, I., 1989: Klimatologische Untersuchung über die atmosphärische Gegenstrahlung und Vergleich von Berechnungsverfahren anhand langjähriger Messungen im Oberrheintal. Ber. DWD Nr. 178.
- Kessler, A., 1979: Die Sonnenstrahlung im System Erde-Atmosphäre. Freiburger Universitätsblätter Nr. 66, 47-53.
- Kessler, A., 1983: Die Beeinflussung des Wärmehaushalts durch Veränderung der Bodennutzung. Veröff. Regionalverb. Südl. Oberrhein Nr. 11, 29-34.

- Kessler, A., 1983: Über die spezifischen Strahlungsumsätze verschiedener Oberflächentypen in Mitteleuropa, klimatologisch betrachtet. *Wiss. Ber. Meteorol. Inst. Univ. Karlsruhe* Nr. 4, 101-111.
- Kessler, A., 1985: Anthropogene Änderungen des Strahlungshaushalts der Erdoberfläche. Zur Problematik der Rekonstruktion vorzeitlicher Strahlungsklimate in Mitteleuropa. *Erdkunde* **39**, 175-179.
- Kessler, A., 1985: Heat balance climatology. *World survey of climatology* (ed.: H.E. Landsberg), General Climatology, 1A, New York, Elsevier.
- Kessler, A., 1985: Über die kurzweilige Albedo eines Kiefernwaldes. Eine klimatologische Langzeitstudie. *Meteorol. Rdsch.* **38**, 82-91.
- Kessler, A.; Jaeger, L., 1994: Mittlere Tages- und Jahresgänge der Strahlungsbilanz und ihrer Komponenten über einem südwestdeutschen Kiefernwald. *Erdkunde* **50**, 14-33.
- 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.
- Kessler, A.; Jaeger, L., 2003: Analysis of long time series of long-wave radiation fluxes above a pine forest. *Theor. Appl. Climatol.* **74**, 179-189.
- Kessler, A.; Jaeger, L.; Schott, R., 1979: Die Auswirkungen der Sonnenfinsternis vom 29. April 1976 auf die Energieströme an der Erdoberfläche. *Meteorol. Rdsch.* **32**, 109-115.
- Kessler, A.; Müller, R.; Jaeger, L., 1988: Der Wasserhaushalt eines Kiefernwaldes und seine Wechselwirkungen mit dem Energiehaushalt. *Erdkunde* **42**, 177-188.
- Königer, P.; Uhlenbrook, S.; Leibundgut, Ch.; Jaeger, L.; Mayer, H., 2001: Isotope hydrological investigation on groundwater origin in the flood plain of the Upper Rhine Valley. In: *New approaches characterizing groundwater flow* (eds. K.-P. Seiler and St. Wohnlich), Amsterdam, Sweets & Zeitlinger, 363-366.
- Köstner, B., 2001: Evaporation and transpiration from forests in Central Europe - relevance of patch-level studies for spatial scaling. *Meteorol. Atmos. Phys.* **76**, 69-82.
- Köstner, B.; Biron, P.; Siegwolf, R.; Granier, A., 1996: Estimates of water vapour flux and canopy conductance of Scots pine at the tree level utilizing different xylem sap flow methods. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 105-114.
- Kohler, M.; Mayer, H.; Wicke, W., 1997: Klimatische Auswirkungen der Aufforstung von Grasland-Flächen. *REKLIP-Jahresbericht 1996*, 91-98.
- Kröner, E., 1988: Auswirkungen von Temperatur und Niederschlag auf die Jahrringstruktur der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) in verschiedenen Höhenlagen Südbadens. *Dipl. Arb. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg*.
- Künstle, E., 1979: Produktionsuntersuchungen an Kiefern im oberrheinischen Trockengebiet. *AFZ*, 1283.
- Künstle, E., 1985: Vergleichende Gaswechsellmessungen an ca. 11 m hohen Kiefern im Dichtschluß und Lichtstand. *Ber. Dtsch. Verb. Forstl. Versuchsanst., Sektion Ertragskunde*, Kälberbronn.
- Künstle, E., 1987: Gaswechsellmessungen an stark freigestellten Kiefern im Trockengebiet des Oberrheins. *Statusseminar KFA Jülich, JI-spez.*, 369.
- Künstle, E., 1987: Standraum - Photosynthese - Zuwachs (Gaswechsellmessungen an Kiefern in der Oberrheinebene). *Forstliche Hochschulwoche Freiburg*.

- Künstle, E.; Ullrich, C.H., 1976: Vergleichende Gaswechselfmessungen an Gemeiner Kiefer und Schwarzkiefer unter den Extrembedingungen des Sommers 1975 im oberrheinischen Trockengebiet. Allg. Forst- u. Jagdz. **147**, 65-68.
- Künstle, E.; Mitscherlich, G.; Hädrich, F., 1979: Gaswechseluntersuchungen in Kiefernbeständen im Trockengebiet der Oberrheinebene. Allg. Forst- u. Jagdz. **150**, 205-228.
- Lehn, W., 1991: A two-band clear sky albedo model for a pine forest. Meteorol. Rdsch. **43**, 129-139.
- Linser, S., 1996: Human-biometeorologische Funktionen von Wäldern. Dipl. Arb. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg.
- Lohner, P., 1977: Untersuchungen über die Saugspannungen in Kiefernadeln aus Dickungen in der Oberrheinebene. Dipl. Arb. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg.
- Lüdge, W., 1971: Die Auswirkung der Waldumwandlung im Trockengebiet des Oberrheintales auf die Schädlingsdisposition der neuen Bestände. Cbl. ges. Forstwesen, Wien, **88**, 72-78.
- Mayer, H.; Matzarakis, A.; Linser, S., 1997: Thermischer Wirkungskomplex der Waldatmosphäre. Ann. Meteor. Nr. 33, 34-39.
- Mayer, H.; Jaeger, L.; Matzarakis, A.; Fernbach, G.; Redepenning, D., 2000: Forstmeteorologische Messstelle Hartheim des Meteorologischen Institutes der Universität Freiburg. Ber. Meteor. Inst. Univ. Freiburg Nr. 5, 55-83.
- Merkel, H., 1981: Unregelmäßigkeiten in der Jahrringstruktur junger Kiefern (*Pinus silvestris* L. und *Pinus nigra* Arnold) und deren klimatologische Interpretation. Dipl. Arb. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg.
- Merkel, H., 1984: Dendroklimatologische Untersuchungen an Kiefern eines Trockenstandortes. Schriftenr. Forstw. Fak. Univ. Freiburg Nr. 12, 81-90.
- Merkel, H., 1984: Über den Witterungseinfluß auf die Jahresringstruktur der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris* L.) - ein Beitrag zur Dendroklimatologie der Nadelhölzer. Diss. Geowiss. Fak. Univ. Freiburg.
- Müller, R., 1987: Interzeption in einem Kiefernforst in der Oberrheinebene. Dipl. Arb. Geowiss. Fak. Univ. Freiburg.
- Oberfeld, B.H., 1977: Messungen tageszeitlicher Schwankungen des Xylemwasserpotentials der Gemeinen Kiefer (*Pinus nigra* Arn.) zu verschiedenen Jahreszeiten. Dipl. Arb. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg.
- Parlow, E., 1996: The regional climate project REKLIP - An overview. Theor. Appl. Climatol. **53**, 3-8.
- Peck, A., 1995: Verdunstung von Wäldern in Abhängigkeit von Bestandsparametern. Dipl. Arb. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg.
- Peck, A.; Mayer, H., 1996: Einfluß von Bestandsparametern auf die Verdunstung von Wäldern. Forstw. Cbl. **115**, 1-9.
- Plonner, R., 1978: Untersuchungen über die Beleuchtungsverhältnisse in jungen Kiefernbeständen (*Pinus silvestris* L. und *Pinus nigra* Arn.). Dipl. Arb. Forstwiss. Fak. Univ. Freiburg.
- Reif, A., 1996: Die Vegetation der Trockenaue am Oberrhein zwischen Müllheim und Breisach. Ber. Naturf. Ges. Freiburg, 84/85, 81-150.

- Ryel, R.J.; Falge, E.; Joss, U.; Geyer, R.; Tenhunen, J.D., 2001: Penumbra and foliage distribution effects on *Pinus sylvestris* canopy gas exchange. *Theor. Appl. Climatol.* **68**, 109-124.
- Schäfer, G., 1977: Nährelementehaushalt von Kiefernjungbeständen in der südlichen Oberrheinebene. *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen*, Heft 7.
- Scheifele, M., 1963: Die Grundwasserabsenkung am Oberrhein. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* **134**, 204-213.
- Schmetz, P.; Schmetz, J.; Raschke, E., 1986: Estimation of Daytime Downward Longwave Radiation at the Surface From Satellite and Grid Point Data. *Theor. Appl. Climatol.* **37**, 136-149.
- Schott, R., 1978: Untersuchungen über die Energiehaushaltskomponenten in der atmosphärischen Grenzschicht am Beispiel eines Kiefernbestandes in der Oberrheinebene. *Diss. Geowiss. Fak. Univ. Freiburg*.
- Schott, R., 1980: Untersuchungen über die Energiehaushaltskomponenten in der atmosphärischen Grenzschicht am Beispiel eines Kiefernbestandes in der Oberrheinebene (Hartheim/Rh.), *Ber. DWD Nr. 153*.
- Sturm, N., 1998: Steuerung, Skalierung und Umsatz der Wasserflüsse im Hartheimer Kiefernforst (*Pinus sylvestris* L.). *Bayreuther Forum Ökologie*, Band 63.
- Sturm, N.; Reber, S.; Kessler, A.; Tenhunen, J.D., 1996: Soil moisture variation and plant water stress at the Hartheim Scots pine plantation. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 123-134.
- Tajchman, S., 1972: Messungen zum Wärmehaushalt über einer Kiefernsonne im Trockengebiet des Oberrheins. *Allg. Forst- u. Jagdztg.* **143**, 35-38.
- Tajchman, S., 1973: On vertical profiles of meteorological parameters above a layer of rough vegetation. *J. Geoph. Res.* **78**, 6381-6385.
- Tajchman, S., 1981: Comments on measuring turbulent exchange within and above forest canopy. *Bull. Amer. Met. Soc.* **62**, 1550-1559.
- Tajchman, S.; Hädrich, F.; Lee, R., 1979: Energy budget evaluation of the transpiration-pF relationship in a young pine forest. *Water Res. Research* **15**, 159-163.
- Tajchman, S.; Lee, R.; Repa, E., 1979: Rainfall additaments to subsurface water in a young pine plantation. *Water Res. Bulletin No. 15*.
- Trüby, P., 1983: Elementumsatz in einer bewässerten Pararendzina der südlichen Oberrheinebene unter besonderer Berücksichtigung der Schwermetalle. *Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen*, Heft 12.
- Vogel, O., 1969: Bestockungsumbau im Trockengebiet Oberrhein, eine volkswirtschaftliche und landeskulturelle Aufgabe. *Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Baden-Württemberg*, Nr. 26.
- Vogt, R., 1988: Die aktuelle Verdunstung eines Kiefernwaldes, berechnet für eineinhalb Jahre. *Dipl. Arb. Geowiss. Fak. Univ. Freiburg*.
- Vogt, R., 1995: Theorie, Technik und Analyse der experimentellen Flußbestimmung am Beispiel des Hartheimer Kiefernwaldes. *Stratus*, Heft 3.
- Vogt, R.; Jaeger, L., 1990: Evaporation from a pine forest - using the aerodynamic method and Bowen ratio method. *Agr. Forest Meteorol.* **50**, 39-54.

- Vogt, R.; Gay, L.W.; Tenhunen, J.D.; Bernhofer, Ch.; Kessler, A., 1996: Preface. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 1-3.
- Vogt, R.; Bernhofer, Ch.; Gay, L.W.; Jaeger, L.; Parlow, E., 1996: The available energy over a Scots pine plantation: what's up for partitioning? *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 23-32.
- Walter, J.-M.N.; Fournier, R.A.; Soudani, K.; Meyer, E., 2003: Integrating clumping effects in forest canopy structure: an assessment through hemispherical photographs. *Can. J. Remote Sensing* **29**, 388-410.
- Wedler, M.; Heindl, B.; Hahn, S.; Köstner, B.; Bernhofer, Ch.; Tenhunen, J.D., 1996: Model-based estimates of water loss from „patches„ of the understory mosaic of the Hartheim Scots pine plantation. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 135-144.
- Wedler, M.; Geyer, R.; Heindl, B.; Hahn, S.; Tenhunen, J.D., 1996: Leaf-level gas exchange and scaling-up of forest understory carbon fixation rates with a „patch-scale„ canopy model. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 145-156.
- Wicke, W., 1988: Studien zu einem Verdunstungsmodell für einen Wald. Dipl. Arb. Geowiss. Fak. Univ. Freiburg.
- Wicke, W., 1997: Analyse des densités du flux de rayonnement solaire mesuré sur la bordure est du fossé Rhénan supérieur. *Publ. Ass. Int. Climatol.* **9**, 393-402.
- Wicke, W., Bernhofer, Ch., 1996: Energy balance comparison of the Hartheim forest and an adjacent grassland site during the HartX experiment. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 49-58.
- Wüthrich, M., 1996: Thermal infra-red underflights compared to ERS-1 C-band synthetic aperture radar focusing soil moisture distribution. *Theor. Appl. Climatol.* **53**, 69-78.