

Rückhalteraum Breisach/Burkheim

Gutachten zum Schutzgut Klima

von

Lutz Jaeger



1.	Einleitung	3
2.	Aufgabenstellung	3
3.	Material und Methoden	3
3.1.	Vorhandene Daten	3
3.2.	Untersuchungsgebiet	4
3.3.	Untersuchungsmethoden	5
4.	Ergebnisse	6
4.1.	Beschreibung der aktuellen klimatischen Situation	6
4.1.1.	Die großklimatische Einordnung	6
4.1.2.	Die klassischen Klimaparameter	7
4.1.2.1.	Die Lufttemperatur	7
4.1.2.2.	Die Luftfeuchte	12
4.1.2.3.	Nebel	13
4.1.2.4.	Niederschlag	15
4.1.2.5.	Wind	18
4.1.3.	Physikalische Grundlagen des Klimas	22
4.1.3.1.	Die Strahlungsverhältnisse	22
4.1.3.2.	Sonnenscheindauer und Bewölkung	26
4.1.3.3.	Die Verdunstung	27
4.2.	Die Wirkung der Überflutungen	28
4.2.1.	Nebelbeeinflussung	29
4.3.	Die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen	31
4.3.1.	Die bioklimatologischen Verhältnisse	31
4.3.2.	Das Wuchsklima	31
4.3.3.	Windverteilung und Zirkulation	31
4.3.4.	Lokale Windfeldstörungen	33
4.3.5.	Kaltluftbewegungen und Luftaustauschprozesse	36
4.3.6.	Lufttemperaturänderungen	37
4.3.7.	Frostgefährdung	38
4.3.8.	Luftfeuchtigkeit	38
4.3.9.	Änderung des Kleinklimas	39
4.3.10.	Die Verdunstung	40
5.	Zusammenfassung	42
6.	Literatur	45

1. EINLEITUNG

Ausgehend von der Notwendigkeit, gemäß der internationalen Vertragssituation zum Hochwasserschutz am Oberrhein auch auf deutscher Seite die festgeschriebenen Vereinbarungen zu erfüllen, ergeben sich Baumaßnahmen, die in der Planungsphase durch Umweltverträglichkeitsprüfungen zu begleiten sind. Dabei sind sowohl die gesetzliche Seite, als auch Bedenken und Befürchtungen der betroffenen Bürger von Belang.

2. AUFGABENSTELLUNG

Im Rahmen einer Umweltverträglichkeitsstudie zum Rückhalteraum Breisach/Burkheim wird hier auf das Schutzgut Klima/Luft eingegangen. Zur Beurteilung der Auswirkungen dieses IRP - Projektes werden dabei die derzeitige klimatische Situation und die zu erwartende voraussichtliche Änderung angesprochen. Im Einzelnen:

- Beschreibung der aktuellen klimatischen Situation
- Veränderung der kleinklimatischen Gegebenheiten nach Fertigstellung des Retentionsraumes
- Mikroklimatologische Gegebenheiten im Überflutungsfall

Als weitere Vorbemerkung wird festgestellt, daß die vorliegende Betrachtung keine umfassende Wirkungsanalyse mit ganzheitlicher Gesamtbewertung darstellt. Sie konzentriert sich auf die Wirkung der nach dem UVP-Gesetz zu berücksichtigenden Faktoren der lokalen Klimate.

Die Analyse bilanziert Wirkungen, die von einem "Eingriff" (Terminologie NatSchG) auf einen Landschaftskomplex ausgehen.

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1 Vorhandene Daten

Die formulierten Aussagen haben zum einen die Untersuchungen der meteorologischen Dienste des Raumes zur Grundlage. Zu nennen sind dabei die regionalklimatologischen Arbeiten des Deutschen Wetterdienstes und MétéoFrance. Weiterhin werden mikroklimatologische Messdaten benutzt, die das Meteorologische Institut der Universität Freiburg erhoben hat.

Spezielle auf das Untersuchungsziel gerichtete Messkampagnen können im zeitlichen Rahmen der Untersuchung nicht geleistet werden. Zum einen, weil im Untersuchungsgebiet keine mikrometeorologischen Messstationen eingerichtet sind, zum anderen würden derartige Messreihen nur das Witterungsgeschehen weniger Jahre abbilden und sind unter klimatologischen Gesichtspunkten aufgrund der kurzen Messperiode nicht auswertbar.

Weiterhin stehen die Datenbanken AGRAR und weitere links (s.u.) zur Abschätzung der Auswirkung des Betriebes des Rückhalteraaumes zur Verfügung.

1.) Vitimeteo, das weinbauliche Prognosesystem für diverse Rebkrankheiten und schädlinge in Abhängigkeit von lokal gemessenen Wetterparametern und Wetterprognose gem. dem Wetterdienst von Meteoblue (<https://www.meteoblue.com>)
<http://www.vitimeteo.de/index.html>

2.) Agrarmeteorologie Baden-Württemberg (hier sind auch die Vitimeteo-relevanten Wetterstationen aufgeführt): <http://www.wetterbw.de>

3.) Zepp (Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und Programme im Pflanzenschutz.) und ISIP (Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion e.V.) bündeln bundesweit die Dinge außerhalb des Weinbaus:

<https://www.isip.de> oder <http://www.isip.de/isip/serveVpage/deutschland/regionales/baden-wuerttemberg> <http://www.zepp.info/>

3.2. Untersuchungsgebiet

Das hier zu behandelnde Untersuchungsgebiet umfasst den RHR Breisach/Burkheim, nördlich von Breisach bis Burkheim, rechtsrheinisch entlang des Rheins, mit einer maximalen Überflutungsfläche von 634 ha. In Nord-Süd-Richtung ergibt sich eine Länge von ca. 6 km, die maximale Breite in West-Ost-Richtung beträgt 1,5 km. Aufgrund der Eigenschaften der Atmosphäre und ihrer Wirkungen ist eine Eingrenzung auf den eigentlichen RHR Breisach/Burkheim nicht sinnvoll und wird in dieser Untersuchung in die Umgebung ausgedehnt.

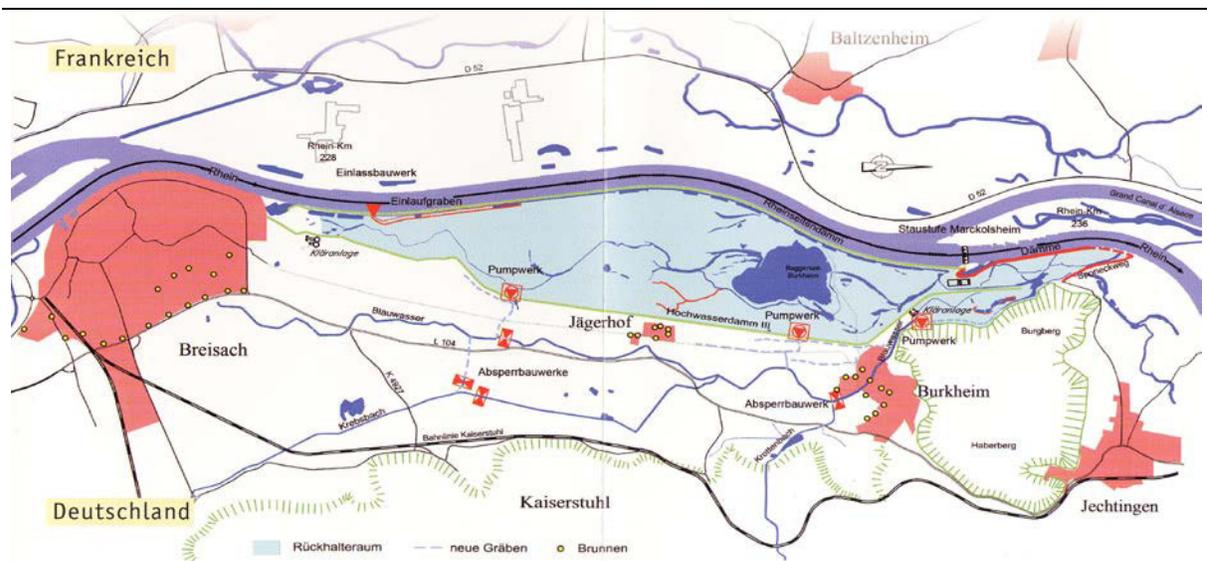


Abb. 1: Übersichtskarte des geplanten Rückhalteraaumes Breisach/Burkheim

Topographisch ist das Projektgebiet charakterisiert durch die Rheinebene, im Westen begrenzt durch den Rhein mit seinen Flussbaumaßnahmen, im Osten begrenzt durch die Niederterrasse des Oberrheintales, aus deren Ebene sich die lößbedeckte Mittelgebirgslandschaft des vulkanischen Kaiserstuhls erhebt. (Höchste Erhebung Totenkopf mit 556 m). Die Naturräumliche Gliederung (Abb. 2) ordnet die Projektfläche in das Oberrheinische Tiefland ein, speziell in die südliche Offenburger Rheinebene (210), den

westlichen Kaiserstuhl (203) und die nördliche Markgräfler Rheinebene (LANDESFORST-
VERW. BADEN-WÜRTTEMBERG, 1970).

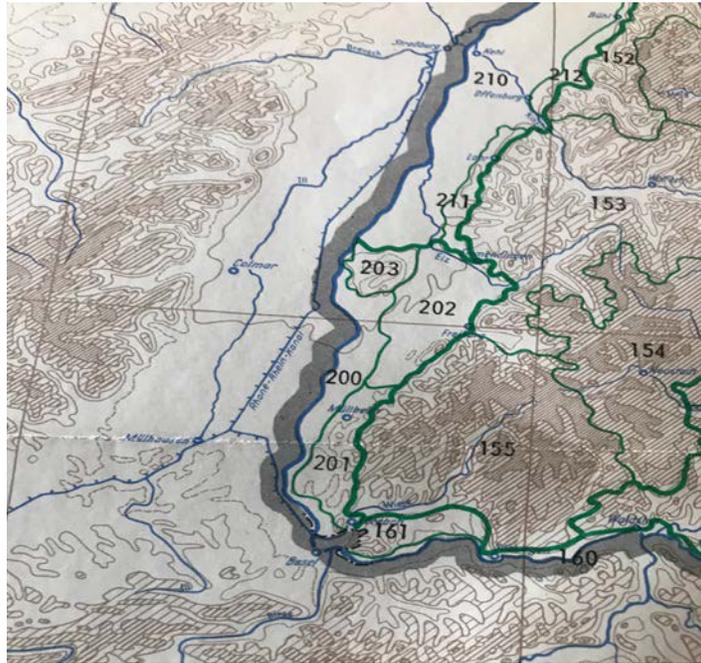


Abb. 2: Naturräumliche Gliederung des Untersuchungsgebietes: 200: Markgräfler Rheinebene, 210 südliche Offenburger Rheinebene, 202: Freiburger Bucht, 211: Rheinhügelland, 203: Kaiserstuhl, 201: Vorgebirge, mittlerer (153) und südlicher (155) Schwarzwald.

3.3. Untersuchungsmethoden

Die für die Umweltverträglichkeitsprüfung und das darin eingebettete Schutzgut Klima notwendigen Aussagen werden durch Inwertsetzung und Anwendung vorhandener Untersuchungen formuliert. Naturgemäß sind diese auf den RHR anwendbaren Untersuchungen in verschiedenen Zeiträumen durchgeführt worden (siehe Literaturverzeichnis) und könnten nur durch ihre Autoren aktualisiert oder harmonisiert werden. Dazu kommen Berechnungen mit regionalem Datenmaterial.

Alle verwendeten meteorologischen Messdaten sind geprüft und klimatologisch bearbeitet worden und flossen ein in den REKLIP Klimaatlas Oberrhein Mitte-Süd (Fiedler, 1995, Hrsg.). Die Universitäten Basel, Freiburg, Straßburg und Karlsruhe haben damit eine Planungsgrundlage bereitgestellt, die auch für den RHR Breisach/Burkheim maßgeblich ist. Aktuellere Datensätze gibt es noch nicht. Der DWD-Atlas mit den Daten von 2014 – 2017 haben eine zu kurze Messperiode und sind daher nicht aussagekräftig. Das Witterungsgeschehen zeigt aber bereits die Wirkung des Klimawandels am südlichen Oberrhein: trockenere Sommer mit extremeren Niederschlagsereignissen (Starkregen und Hagel) und höhere Niederschläge in den Randgebirgen (weniger als Schnee, denn als Regen, auch geringere Schneedeckenandauern).

Eine Aktualisierung der bisherigen Datenbasis ist nicht erforderlich. Das Schutzgut Klima/Luft wurde in der von der WMO definierten klimatologischen Normalperiode 1961 bis 1990 betrachtet und beurteilt. Die aktuelle Normalperiode (1991-2020) ist noch nicht abgeschlossen. Für die Auswirkungen des Klimawandels auf die Witterung am südli-

chen Oberrhein werden die in die Zukunft gerichteten Klimasimulationen des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach und des Deutschen Klimarechenzentrums in Hamburg verwendet. Die für das REKLIP-Projekt von den Universitäten Karlsruhe, Straßburg, Freiburg und Basel gemessenen und bearbeiteten Daten (1951-1980) können und müssen nicht aktualisiert werden.

4. ERGEBNISSE

4.1. Beschreibung der aktuellen klimatischen Situation

4.1.1. Die großklimatische Einordnung

Das Untersuchungsgebiet steht unter dem Einfluss der Klimazone der gemäßigten Breiten Mitteleuropas. Hier strömen von Atlantik und teilweise auch vom Mittelmeer häufig feuchte, vom östlichen Kontinent und aus den Polargebieten relativ trockene Luftmassen oder solche mit geringem Feuchtigkeitsgrad ein. Außerdem treffen in den gemäßigten Breiten warme subtropische Luftmassen aus südlicher Richtung mit kalten aus dem Polargebiet, im Winter aus dem Osten kommend, zusammen. So wird der Witterungsverlauf im Untersuchungsgebiet von Tiefdruckgebieten und (eingelagerten) Hochs veränderlich gestaltet. Stabile Hochdruckgebiete führen dabei für längere Zeit zu ruhigem Wetter. Dies kann im Sommerhalbjahr zu Hitzeperioden führen, im Winter dagegen zu oftmals wochenlang anhaltenden Inversionslagen mit Nebelbildung.

Diese, für die Oberrheinebene typische, witterungsbedingte Nebelbildung ist klimatologisch und witterungsbedingt dominant (REKLIP Klimaatlas Oberrhein Mitte-Süd, Fiedler, 1995 (Hrsg.)). Eine lokale Nebelbildung, etwa durch den Betrieb des Rückhalteraaumes, innerhalb desselben, wird bei Verlassen ihres Entstehungsgebietes durch die damit verbundenen atmosphärischen Prozesse aufgelöst, bzw. beendet. Der Klimaatlas des Deutschen Wetterdienstes, der eine Messperiode von 2014 bis 2017 auswertet, geht in die gleiche Richtung, bzw. bringt keine neuen Erkenntnisse (DWD, 1992 ff).

Durch die mitteleuropäischen Zirkulationsverhältnisse, beeinflusst durch die Orographie (eingebettet zwischen Vogesen und Schwarzwald, Tieflage der Oberrheinebene) wird das Untersuchungsgebiet als (thermisch) begünstigt angesehen, was sich beispielsweise in einer Schneedeckenarmut ausdrückt. Es gibt aber auch kritische Wetterlagen, etwa Inversionen und Schwachwetterlagen, auf die planerisch Rücksicht genommen wurde. Dazu gehört die Vermeidung der Planung von Kaltluft-Sammelgebieten. Dabei handelt es sich um ebene Flächen in relativer Tieflage. Dämme aller Art (Straßen-, Eisenbahn- oder Hochwasserdämme) können zu derartigen Situationen führen, ebenso die Wahl der Vegetation (KING, 1973).

4.1.2. Die klassischen Klimaparameter

4.1.2.1. Die Lufttemperatur

Den hier und in den weiteren 4.1.2.- Abschnitten gemachten Angaben liegen Messungen des Deutschen Wetterdienstes und von MétéoFrance zu Grunde. Der Mittelungszeitraum reicht im Wesentlichen von 1951 bis 1980. Die Datensätze wurden Ende des letzten Jahrhunderts von einer internationalen Arbeitsgruppe im Regio-Klima-Projekt (REKLIP) bearbeitet (Fiedler, 1995, Hrsg.). Die Hauptaufgabe bestand darin, klimatologische Grundlagen für Planungszwecke im gesamten Oberrheintal zur Verfügung zu stellen. Auch der Regionalverband Mittlerer Oberrhein war seinerzeit stark an diesem Projekt interessiert.

Was die Lufttemperatur anlangt, so werden diese in Deutschland in 2 m Höhe in Wetherhütten erfasst, in Frankreich ist das Messniveau tiefer.

Hinsichtlich der Wärmeverhältnisse stellt das Oberrheinische Tiefland (Rheinebene einschließlich Rheinhügelland), in dem sich das Untersuchungsgebiet RHR Breisach/Burkheim befindet, die einheitlichste Großlandschaft Südwestdeutschlands dar. Dank der geringen Meereshöhe (Breisach 187 m NN, Burkheim 183 m NN) herrscht durchweg ein gemäßigttes Klima, mit Jahresdurchschnittstemperaturen von meist über 10⁰C.

Die Jahresschwankungen werden durch folgende mittlere Temperaturangaben charakterisiert: Im Januar liegt das mittlere Lufttemperaturniveau zwischen 1⁰ C und 2⁰ C. Die Mitteltemperaturen bewegen sich im gesamten Untersuchungsgebiet zwischen 9⁰ und 10⁰ C, im Juli zwischen 18⁰ und 19⁰ C. Oktoberwerte werden zwischen 10⁰ und 11⁰C beobachtet.

Zur Illustration dieses Jahreganges dient Abb. 3. Sie zeigt den Jahrgang der Lufttemperatur der beiden außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes liegenden Stationen Colmar am Vogesenostfuß im Niederterrassenbereich (48⁰ 4' N, 7⁰ 22' E, 190 m NN, Bezugszeitraum 1921 – 1950) und Mengen in der zentralen Grabensenke im Niederterrassenbereich (47⁰ 58' N, 7⁰ 43' E, 213 m NN, Bezugszeitraum 1931 – 1960).

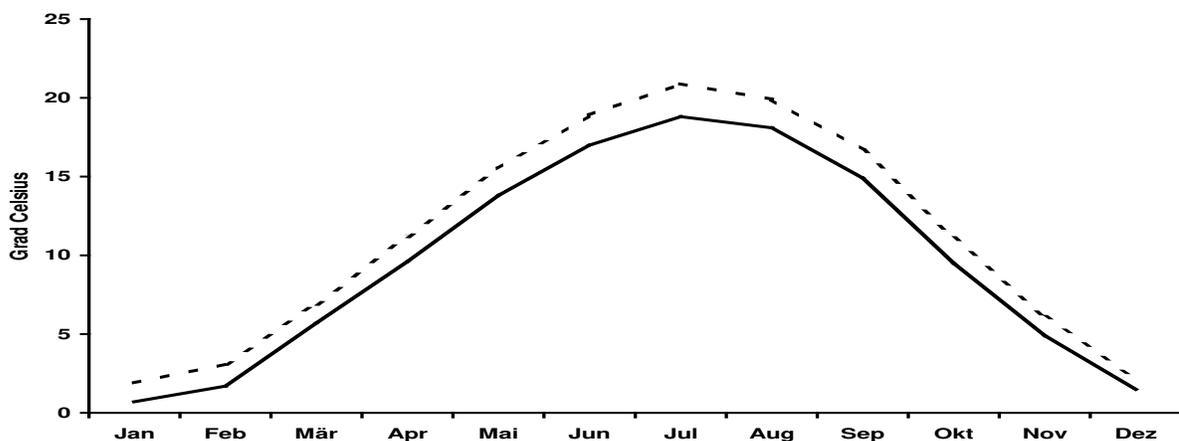


Abb. 3: Durchschnittliche Monatsmittel der Lufttemperatur in Colmar, Elsaß (gestrichelte Kurve) und Mengen, Markgräfler Land (durchgezogene Linie)

Da das südliche Oberrheintal einen einheitlichen Klimaraum mit den ebenso einheitlichen Witterungsverhältnissen darstellt, werden drei Météofrance-Stationen in der näheren Umgebung des RHR aus dem REGIO-Klimaatlas im folgenden herausgestellt (Abb. 4a – 4d)

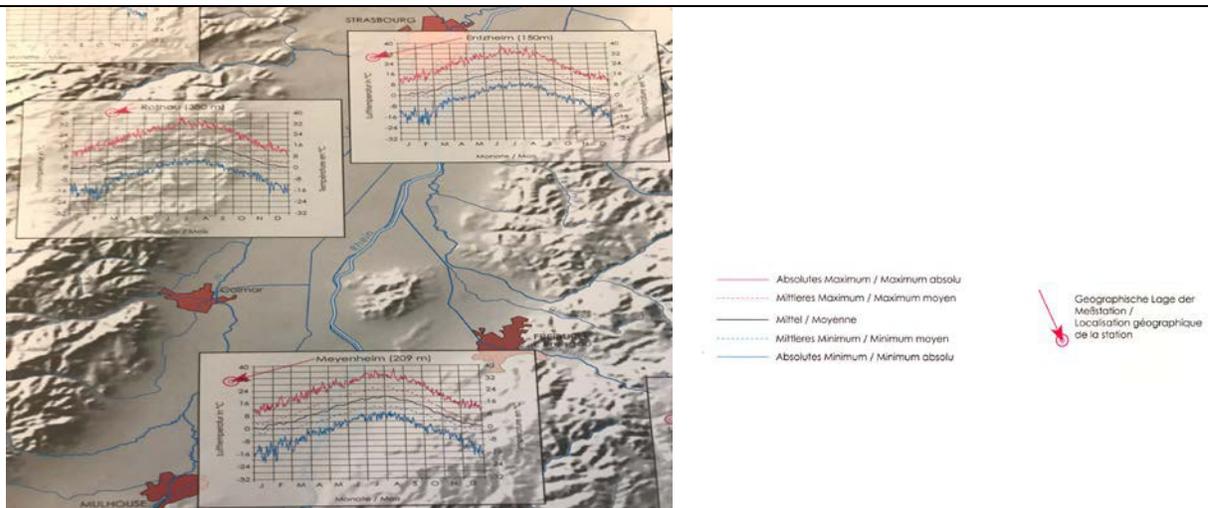


Abb. 4a: Jahresgänge der Lufttemperaturverhältnisse im Umfeld des RHR Breisach/Burkheim.: Entzheim (150 m NN in der Rheinebene), Rothau (380 m NN in den Vogesen) und Meyenheim (209 m NN, ebenfalls in der Rheinebene). Alle Meßpunkte sind MÉTÉOFRANCE-Stationen und liegen linksrheinisch im Elsaß. (REKLIP-Atlas)

Ein etwas feineres Bild bietet die Station Entzheim (Flughafen Straßburg), ca. 60 km nördlich des Untersuchungsgebietes gelegen (Abb. 4b). Hier sind Tageswerte der Lufttemperatur im Jahresgang als absolutes Maximum (rot), mittleres Maximum (rot gestrichelt), Tagesmittel (schwarz), mittleres Minimum (blau gestrichelt) und absolutes Minimum (blau durchgezogen) zu finden.

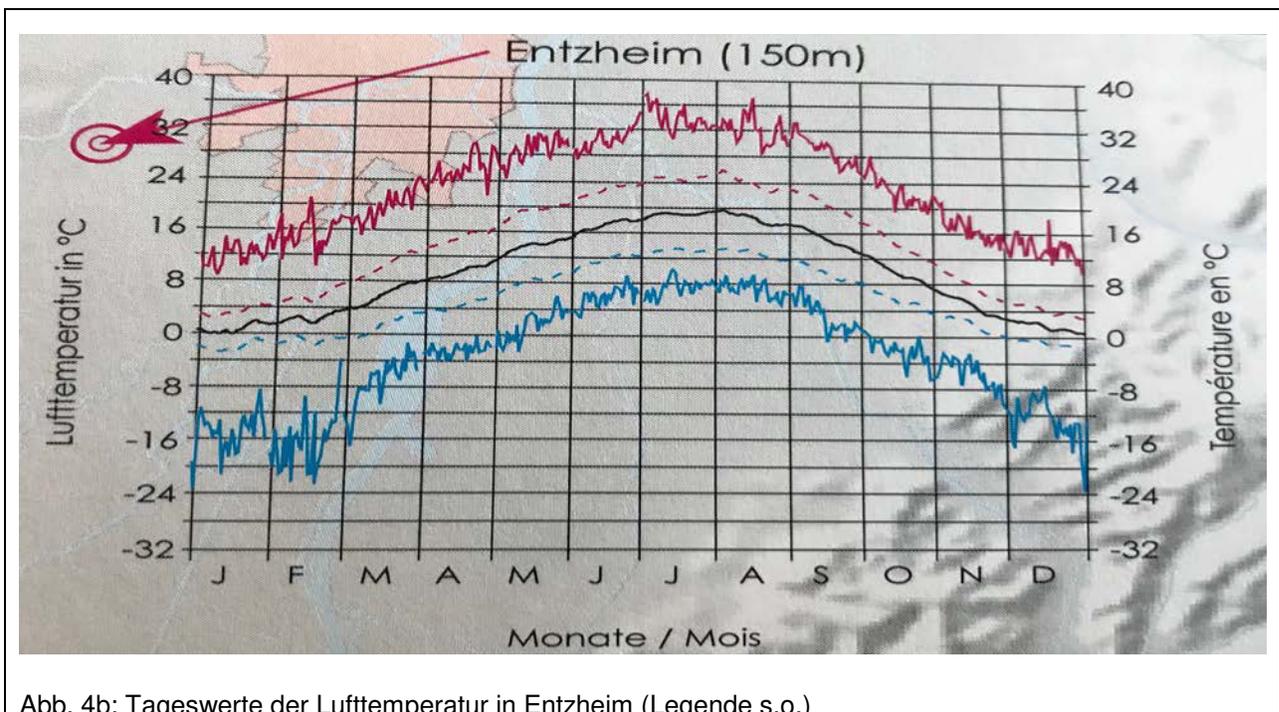


Abb. 4b: Tageswerte der Lufttemperatur in Entzheim (Legende s.o.)

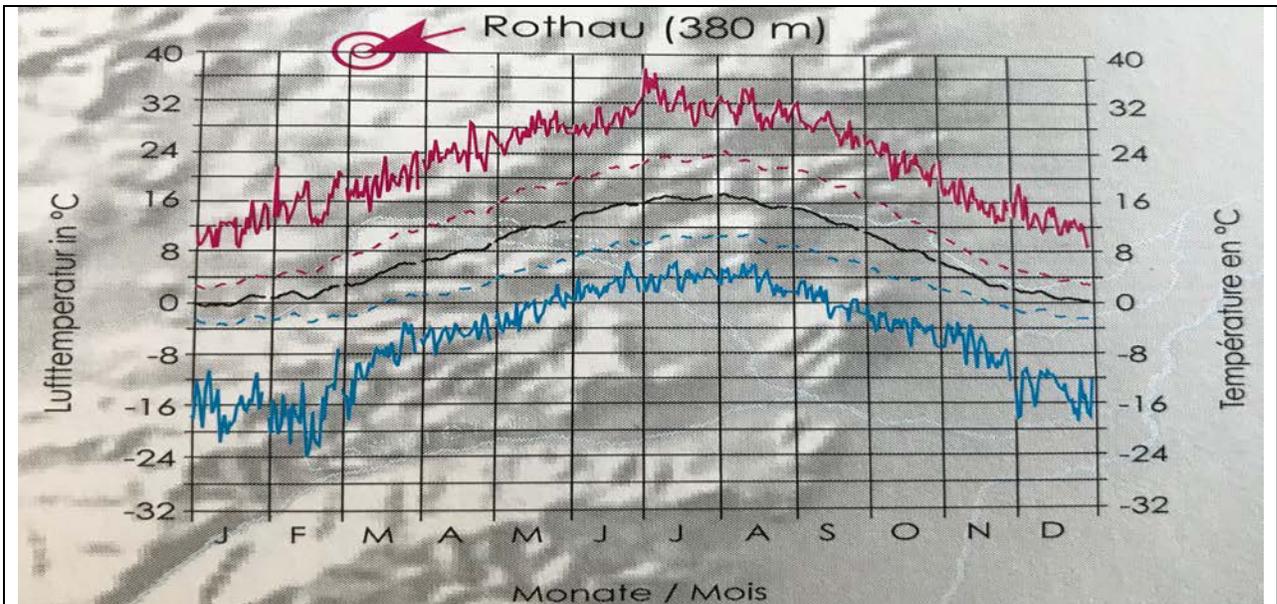


Abb. 4c: Tageswerte der Lufttemperatur in Rothau. Schwarz: Tagesmittel, rot durchgezogen: absolutes Maximum, rot gestrichelt: mittleres Maximum, blau durchgezogen: absolutes Minimum, blau gestrichelt: mittleres Minimum.

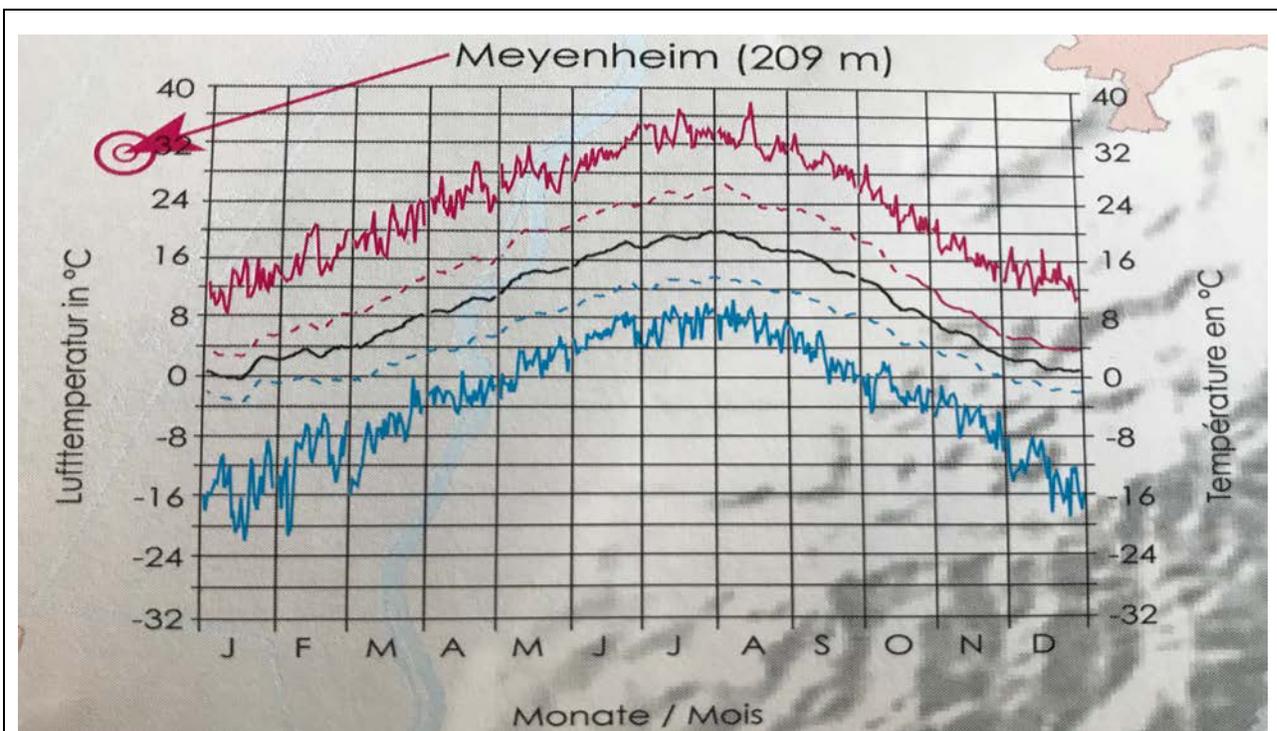


Abb. 4d: Tageswerte der Lufttemperatur in Meyenheim. Schwarz: Tagesmittel, rot durchgezogen: absolutes Maximum, rot gestrichelt: mittleres Maximum, blau durchgezogen: absolutes Minimum, blau gestrichelt: mittleres Minimum.

Im Untersuchungsraum selbst ergibt sich einheitlich eine Jahresschwankung der Lufttemperatur von 18° bis 19° C. Das Mittel der Lufttemperatur in der Vegetationsperiode von April bis September wird mit 15° bis 16°C gemessen und errechnet.

Die Oberrheinebene im Raum westlich von Freiburg bleibt im langjährigen Mittel ca. 200 Tage im Jahr frostfrei. Temperaturen unter 0°C kommen normalerweise in der Zeit vom 25. Oktober bis etwa 15. April vor. Der bisher früheste Zeitpunkt eines Herbstfrostes war der 21. September 1877, der späteste der 24. November 1935. Der bisher früheste Termin eines Spätfrostes fiel auf den 9. März 1934, der späteste auf den 14. Mai 1876 (TRENKLE, 1980).

Abgesehen von den forstmeteorologischen Untersuchungen im Hartheimer Kiefernwald in Rheinnähe südlich des RHR Breisach/Burkheim gibt es keine weiteren mikroklimatologischen Untersuchungen. Die dort getroffenen Aussagen behalten auch durch den sich auswirkenden Klimawandel nach wie vor an Gültigkeit.

Nach den seit April 1974 vorgenommenen und 1985 ausgewerteten Aufzeichnungen der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Instituts der Universität Freiburg im Hartheimer Rheinwald (Waldstation im ehemaligen Auwald ca. 16 km südlich von Breisach) war der früheste Zeitpunkt eines Herbstfrostes der 7. September (ermittelt 1976) mit $-0,3^{\circ}\text{C}$, der späteste der 1. November 1982 mit $-1,6^{\circ}\text{C}$. In den Jahren 1977 und 1979 traten am 20. bzw. 17. September Fröste zwischen $-0,8^{\circ}\text{C}$ und $-2,1^{\circ}\text{C}$ für 2 bis 7 Stunden auf, gemessen in 2 m Höhe in einem Kiefernbestand.

Der früheste Termin des letzten Frostes in der Hartheimer Beobachtungsperiode im Frühjahr war der 15. April 1986 ($-1,2^{\circ}\text{C}$), der späteste der 6. Juni 1975 ($-1,0^{\circ}\text{C}$, Andauer drei Stunden). Während der zweiten Maihälfte gab es Fröste in den Jahren 1974, 1976 und 1980 mit bisher höchstens $-1,0^{\circ}\text{C}$ über drei Stunden. Frosttage in der ersten Maihälfte wurden in 10 von 13 Untersuchungsjahren bis minimal $-3,0^{\circ}\text{C}$ während 8 Stunden verzeichnet (JAEGER, 1985).

Im Vergleich mit den großräumigen Angaben langfristiger Messungen in der Oberrheinebene, wie sie TRENKLE (1980) macht, sind in Hartheim nicht nur eine früherer Frostbeginn im Herbst, sondern auch zahlreiche, wesentlich spätere Fröste nach Laubaustrieb festgestellt worden. Dass das Frostrisiko in den tiefsten Lagen der Rheinebene relativ groß ist, wird auch bei TRENKLE (1980) und LFU-IÖN (1981) erwähnt.

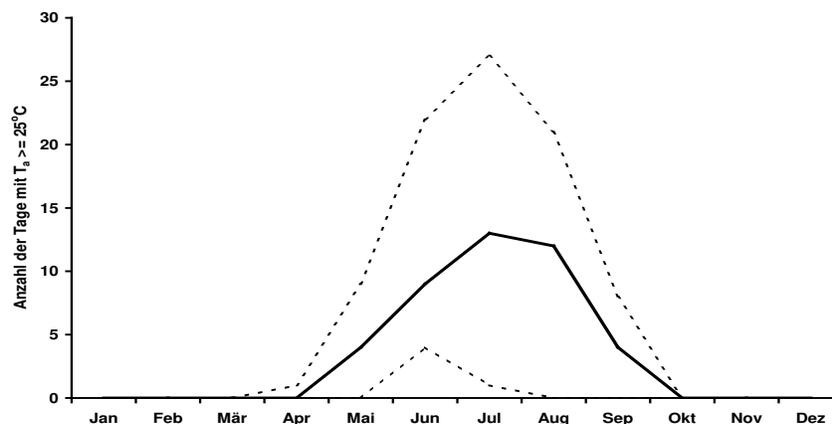


Abb. 5: Maximale (obere gestrichelte Kurve), mittlere (stark durchgezogene Linie) und minimale (untere gestrichelte Linie) Anzahl der Sommertage mit Lufttemperaturen $T_a \geq 25^{\circ}\text{C}$ in Hartheim (Beobachtungsperiode 1974 – 1986)

Hinsichtlich der wärmeren Jahreszeit ist ebenfalls die Forstmeteorologische Messstelle Hartheim heranzuziehen. Maximale, mittlere und minimale Anzahl von Sommertagen mit Lufttemperaturen über 25°C zeigt Abbildung 5.

Von dem für die Planung eines Kernkraftwerkes errichteten Messturm in Wyhl am Kaiserstuhl, 16 km von Breisach entfernt (siehe Abb. 6) liegen Lufttemperatur und Luftfeuchtemessungen aus verschiedenen Messniveaus vor.

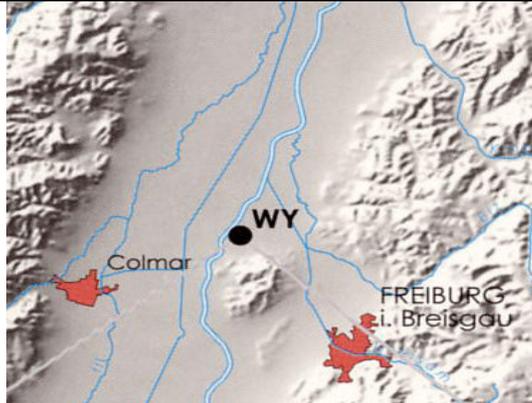


Abb. 6: Lage des Messturms von Wyhl und sein Bezug zum Untersuchungsgebiet

Aus diesem Datenmaterial sind die Monatsmittelwerte der Lufttemperatur in Abb. 7 errechnet worden aus der der mittlere Jahrgang der Lufttemperatur in einem Waldgebiet abgelesen werden kann.

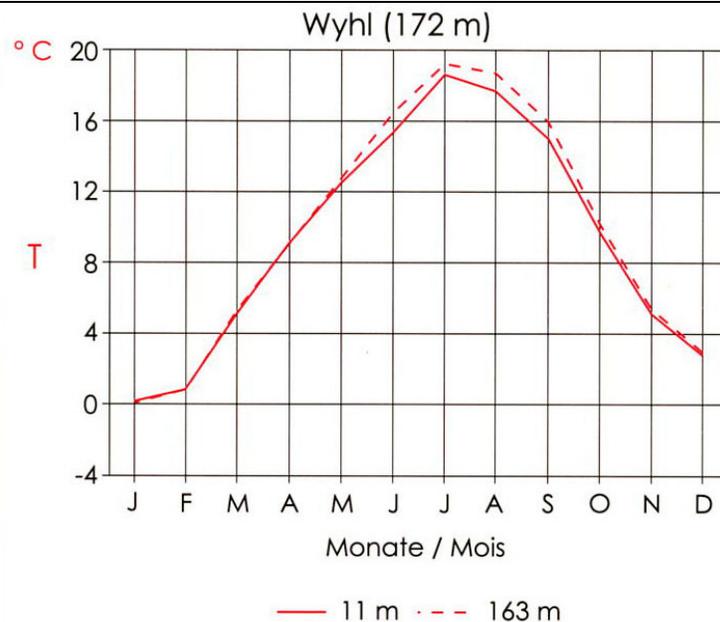


Abb. 7: Mittlerer Jahrgang der Lufttemperatur in Wyhl (Mittelungszeitraum 1951 - 1980), gemessen in 11 und 163 m Meßhöhe.

		Mai	Juni	Juli	August	September
Hartheim	Maximum	1	16	14	10	2
	Mittel	-	2	5	3	-

Eine Übersicht über die auftretenden Tropentage (heiße Tage, Lufttemperatur $T_a \geq 30^\circ\text{C}$) bezogen auf Hartheim bietet Tabelle 1.

Der Abfall der Oberrheinebene nach Norden im Untersuchungsgebiet ergibt keine Veränderung der Dauer der Vegetationsperiode. Die Abnahme der Geländehöhe steht in ihrer Wirkung offenbar gegensinnig zur Zunahme der geographischen Breite (HÖSCHELE in FIEDLER, 1995).

4.1.2.2. Luftfeuchte

Zur Charakterisierung der Luftfeuchtigkeit im Untersuchungsraum zeigt Abb. 8 den Zusammenhang zwischen Dampfdruck e und Lufttemperatur T_a im Jahresverlauf am Beispiel der Station Freiburg. Alle Auswertungen in der Umgebung des Untersuchungsgebietes weisen dieselbe Charakteristik auf. (Im Untersuchungsgebiet selbst stehen keine Luftfeuchtedateien zur Verfügung).

Die inzwischen eingerichteten und o.a. Datenbanksysteme (z.B. AGRAR) stehen für Prognosezwecke zur Verfügung (zukunftsgerichtet), ermöglichen aber noch keine Analyse der Klimaentwicklung.

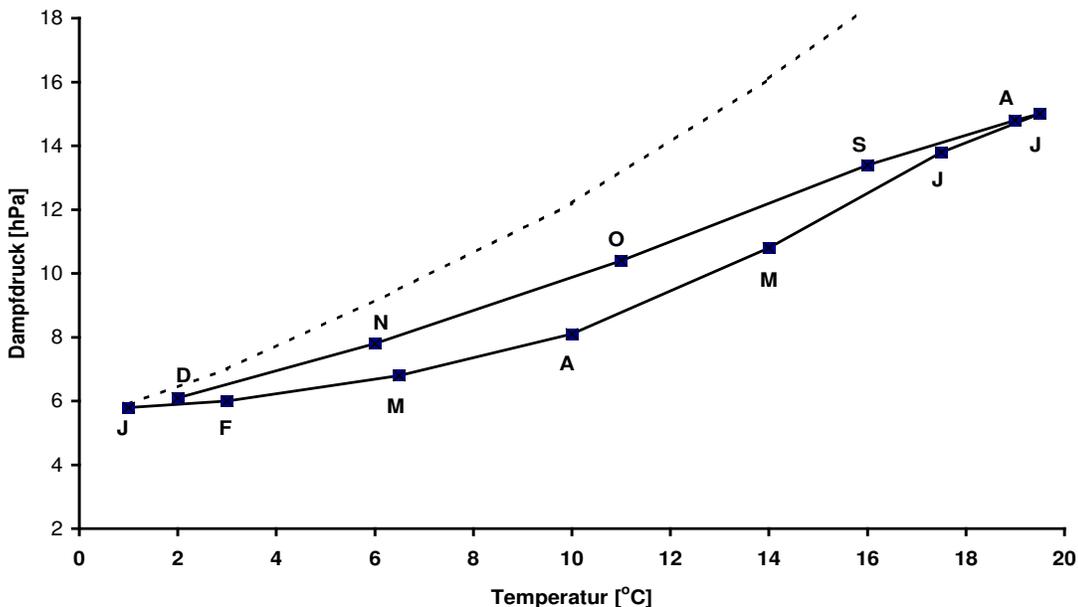


Abbildung 8: Zusammenhang zwischen mittlerem monatlichem Dampfdruck und der Lufttemperatur in Freiburg. Die Monatswerte sind durch ihre Anfangsbuchstaben gekennzeichnet; die gestrichelte Kurve markiert den Sättigungsdampfdruck.

Die nächste Abbildung (Abb. 9) greift wieder auf die Messungen in Wyhl zurück und zeigt den Jahrgang der Feuchtegrößen Dampfdruck e und relative Feuchte U .

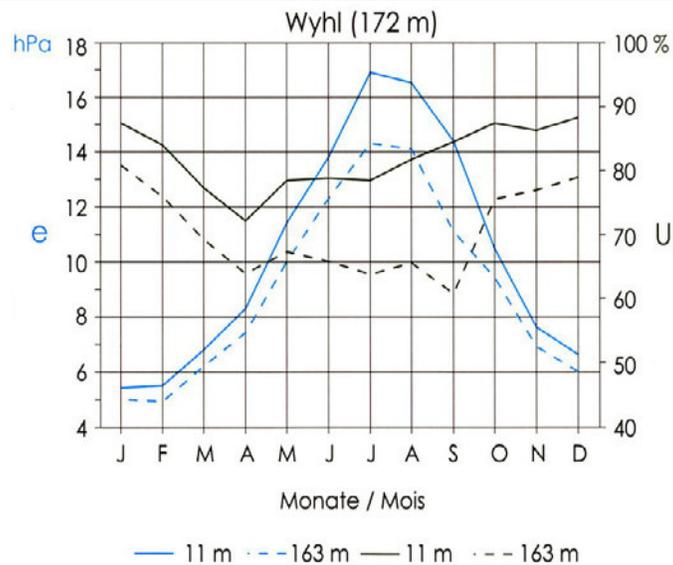


Abb. 9: Monatsmittelwerte des Dampfdrucks e und der relativen Feuchte U am Meßturm Wyhl (Kaiserstuhl), gemessen in 11 und 163 m Meßhöhe.

4.1.2.3. Der Nebel

Zur Ansprache der monatlichen Anzahl der Tage mit Nebel (am Boden aufliegende Wolken), wobei über die Andauer der Nebelsituationen keine Aussage gemacht wird, stehen die Stationen Meyenheim und Freiburg, beide außerhalb des Untersuchungsgebietes zur Verfügung. Mit Nebel ist hier die Kondensation von Luftfeuchte in der bodennahen Luftschicht gemeint, nicht der Hochnebel. Abbildung 10 verdeutlicht die Zahl der Nebeltage, sowie die Bandbreite der Eintrittshäufigkeit.

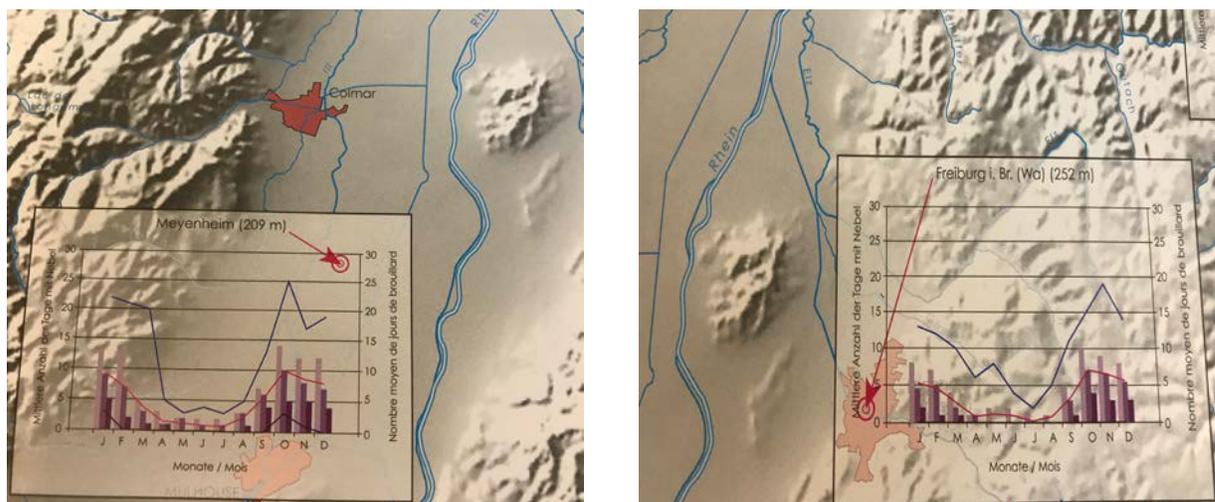


Abb. 10: Monatliche Anzahl der Tage mit Nebel in Meyenheim (209 m NN) und Freiburg (252 m NN), Zeitraum 1951 – 1980. Blau durchgezogen: Maximum, rot durchgezogen: Mittel, schwarz durchgezogen: Minimum. Dunkelviolette Säulen: erstes Quintil, hellviolette Säulen: viertes Quintil, mittelviolette Säulen: Median (Fiedler, 1995, Hrsg.).

Die Nebelhäufigkeit im Bereich des RHR Breisach/Burkheim im Winterhalbjahr gehört zur höchsten im gesamten Oberrheingebiet. Sie erreicht Werte von über 80% (Abb. 11). Wetterlagenabhängig wird das Bild für das Gesamtjahr noch weiter differenziert. Wird das Untersuchungsgebiet in der Höhe geostrophisch aus nördlichen bis östlichen Richtungen angeströmt, erhöht sich die Nebelhäufigkeit um das Doppelte. Bei Anströmung aus südlichen bis westlichen Richtungen wird die Nebelhäufigkeit um die Hälfte reduziert. Wird nur eine schwache Höhenströmung beobachtet, ergibt sich im Mittel eine ähnliche Differenzierung wie für den geostrophischen Fall (WAHL, 1997). Bei winterlichen Hochdrucklagen, die mit geostrophischen Anströmungen von Nord bis Ost verknüpft sind, dauern die Nebeldecken längere Zeiträume an, im Extremfall mehrere Wochen.

Der geostrophische Wind kommt durch ein entgegengesetztes Gleichgewicht von Druckgradientkraft (Drift vom Hoch- zum Tiefdruckgebiet) und Corioliskraft zustande. Er tritt in in größerer troposphärischer Höhe auf, besonders stark ausgeprägt als Jet-stream.

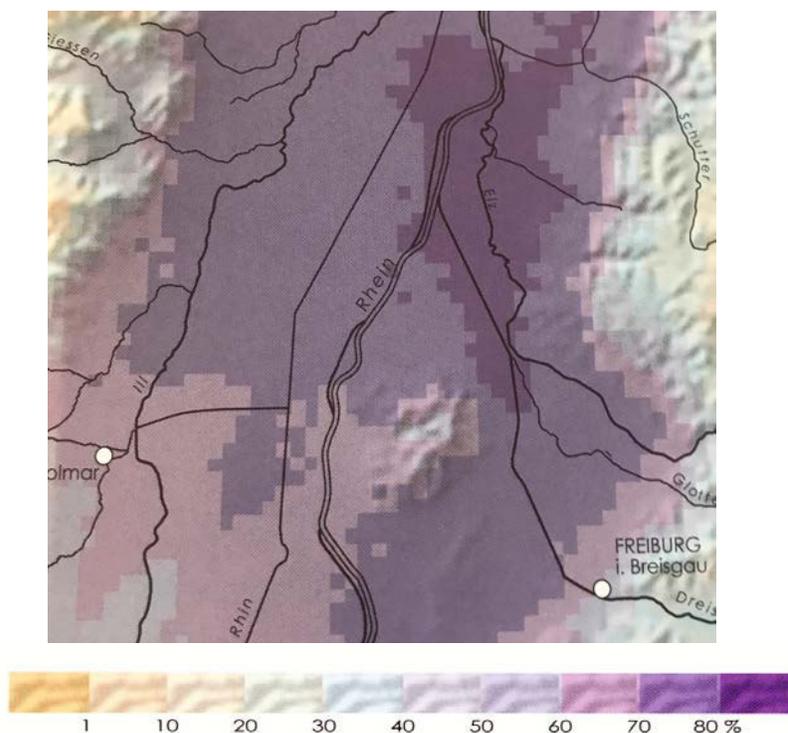


Abb. 11: Nebelhäufigkeit im Winterhabjahr im Bereich des Untersuchungsraumes

4.1.2.4. Niederschlag

Das Untersuchungsgebiet wird als niederschlagsarm angesehen. Der schmale Untersuchungsraum ermöglicht keine Differenzierung im Niederschlagsgeschehen (Abb. 12).

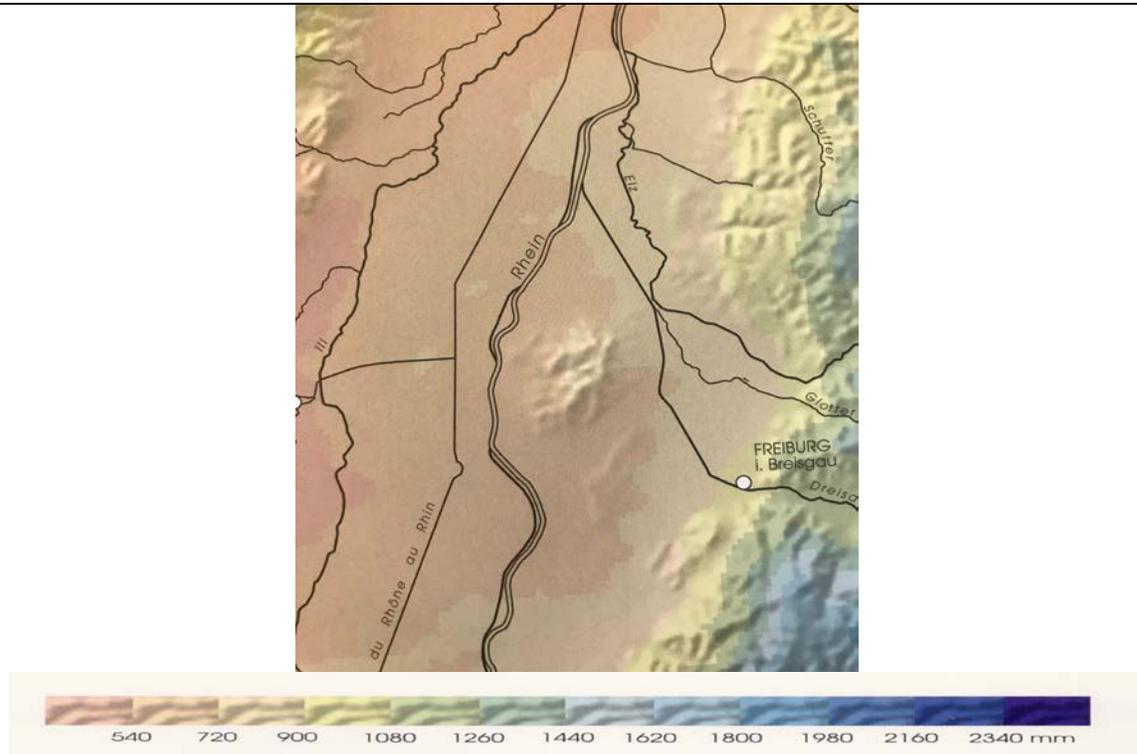


Abb. 12: Niederschlag um den Kaiserstuhl, Jahreshöhe, Median, Zeitraum 1951 – 1980

Im Jahresmittel liegt der gemessene, fallende Niederschlag bei ca. 600 mm. Hier macht sich der abschirmende Einfluss vor allem der Vogesen und des Schwarzwald bemerkbar. Dieser abschirmende Effekt wird aber im Sommer an den auftretenden Niederschlagstagen durch niederschlagsbildende Labilisierung der feuchtwarmen Luft kompensiert. Im Januar ist mit maximal 45 mm Niederschlagsaufkommen zu rechnen, im April und Juli mit maximal 60, und im Oktober mit 45 mm. Die Vegetationsperiode erhält 400 – 450 mm Niederschlagsspende. Den Jahrgang der Niederschläge etwas südlich des Untersuchungsgebietes verdeutlicht die Abbildung 13, ein Ergebnis von Niederschlagsuntersuchungen an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim. Der Untersuchungszeitraum war 1974 bis 1983. Die Niederschlagshöhen wichen kaum von den Messungen des Deutschen Wetterdienstes in Hartheim und des Geophysikalischen Dienstes der Bundeswehr in Bremgarten ab (JAEGER, 1984). Hervorzuheben ist, dass die Standardabweichung der Monatssummen der Niederschläge des Untersuchungszeitraums im Mai bei 69 mm liegt, während die übrigen Monate zwischen 20 und 40 mm liegen. D.h., das rheinnahe Oberrheingebiet kann im Mai sehr viel, aber auch sehr wenig Regenfälle erhalten. Wie alle Stationen der Oberrheinebene hat auch Hartheim und somit auch das Untersuchungsgebiet im Jahrgang ein zweigipfeliges Maximum. Das Relief verstärkt auch die Wintertrockenheit. Der Föhnneffekt im Lee der Vogesen wirkt sich bis zum Rhein aus, ebenso in der Colmarer Trockeninsel und in der weinbauför-

dernden Föhnluke am Kaiserstuhl. Zwischen dem (absteigenden) Föhn an den Vogesenhängen und der ersten Föhnwelle am Kaiserstuhl entsteht ein Bereich wolkenlosen Himmels, der als Föhnfenster, Föhnloch oder Föhnluke bezeichnet wird (Hupfer & Kuttler, 2006)

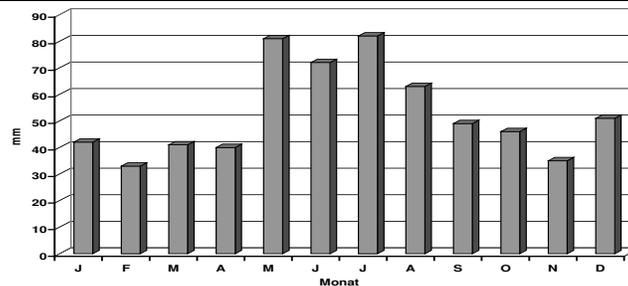


Abb. 13: Mittlere monatliche Niederschläge (1974 – 1983) an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim, umgerechnet auf mittlere Monate.

Wie überall in den gemäßigten Breiten, die in der Westwindzone liegen, wird der Niederschlag von den großräumigen Zirkulationsverhältnissen und den damit verbundenen Wetterlagen erzeugt. Bei Höhenwinden aus Süden und Westen ergeben sich mittlere Tagesniederschläge von 3 bis 4 mm, bei West- bis Nordwest-Anströmung und Nordwest- bis Nordwinden 2 bis 3 mm und bei Höhenwinden aus variierenden Richtungen 1 bis 2 mm. Dies gilt dann, wenn die Zirkulationsverhältnisse niederschlagsbildend sind. Der Untersuchungszeitraum ist 1985 bis 1987 (GOSSMANN & KLEIN in FIELDER, 1995).

Was die Veränderung der Niederschlagsverhältnisse anlangt, so ergab sich im Untersuchungsgebiet (Zeitraum 1901 – 2000) eine winterlichen Zunahme (SCHÖNWIESE & TRÖMMEL, 2005). Im Zeitraum 1971 – 2000 erfasst diese Tendenz auch andere Jahreszeiten. Im Sommer wird allerdings ein Trend zu mehr Trockenheit beobachtet, überlagert von episodischen Starkniederschlägen und eine Zunahme von Hagelereignissen. Dabei reduziert sich der Jahresmittelwert um 10 mm (DABROWSKI, 2002).

Im Untersuchungsraum fällt wenig Niederschlag als Schnee und andauernde Schneedecken sind selten. Die beide Stationen Straßburg und Freiburg verfügen über die kurzzeitigsten und schütternsten Schneedecken. Im Median werden in Straßburg nur im Dezember ein Tag mit Schneedecke beobachtet, im Januar 6 und im Februar zwei Tage (Abb. 14). Allerdings darf an dieser Stadtstation die anthropogene Wärmeentwicklung nicht außer Acht gelassen werden.

Zur Gewitterbildung und ihre Auswirkungen auf das Untersuchungsgebiet ist folgendes festzustellen (Hupfer, Kuttler, 2006). Die Einteilung nach ihrer Entstehung ist folgende:

- Luftmassengewitter
- Frontgewitter
- Orographische Gewitter
- Böenfront (suall line)-Gewitter

Von der Oberfläche ausgelöste Gewitter sind orographisch. Die Orographie in Rheinhöhe (flaches Relief) zwischen Breisach und Burkheim kann keine Gewittergenese auslösen. Der Kaiserstuhl wäre hier zu nennen. Sein orographischer Effekt wird durch sein Rheinebenenvorland nicht im geringsten beeinflusst, aktuell nicht und auch nicht durch den geplanten RHR. Ebenso sind Baggerseen und Überflutungen sowie Flutungen energetisch zu unwesentlich, um Gewitterbildungen zu tiggern. Dies ist an Küsten mit

warmem Meerwasser möglich, etwa an der südamerikanischen Westküste (ENSO = El Niño – Southern Oszillation).

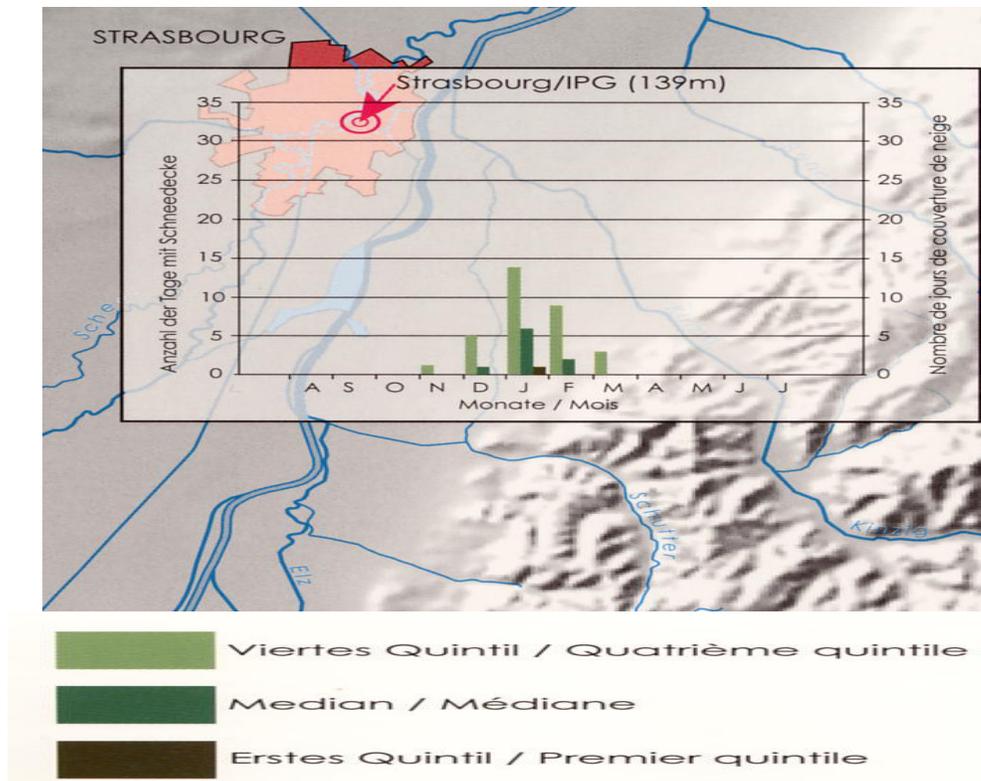


Abb. 14: Anzahl der Tage mit Schneedecke in Straßburg, Zeitraum 1951 – 1980

Auch die Kanalisierung oder Ausbildung von Gewitterstraßen in Gebieten mit fehlender Reliefenergie ist wissenschaftlich nirgendwo beschrieben worden (Hufty, 2001).

Niederschläge auf das Untersuchungsgebiet werden vollständig in der vorhandenen Vegetationsdecke und im Bestand umgesetzt. Dies bedeutet, in unmittelbarer Rheinnähe gelangt kein Niederschlag ins Grundwasser (SCHÄFER, 1977). Dieses Untersuchungsergebnis südlich von Breisach kann auch auf das Gebiet nördlich Breisach angewendet werden. Die im Winterhalbjahr während der Vegetationsruhe fallenden Niederschläge werden zur Auffüllung der Bodenfeuchte genutzt. Diese erreicht in manchen Jahren den permanenten Welkepunkt. Eine Niederschlagspende an das Grundwasser ist nicht möglich.

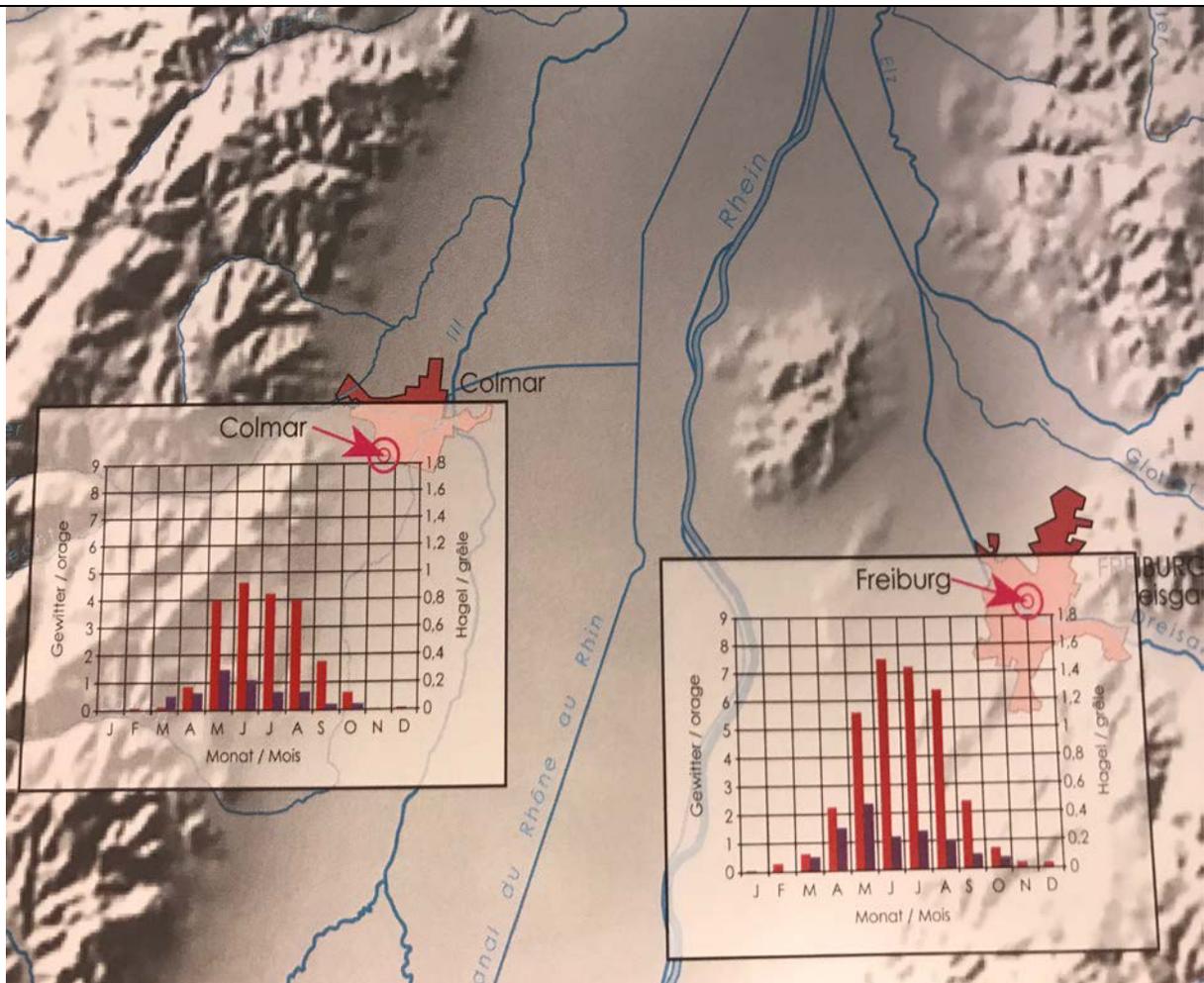


Abb. 15: Mittlere Anzahl der Tage mit Hagel bzw. Gewitter in Colmar und Freiburg, Zeitraum 1951 bis 1980. Rote Säulen: Gewittertage, blaue Säulen: Tage mit Hagelschauern

Mittlere Gewitter- und Hageltage in Colmar und Freiburg zeigt Abb. 15. Das Auftreten von Hagel und Gewitter gibt Hinweise auf die Häufigkeit konvektiver Niederschlagsereignisse. Diese Ereignisse treten konzentriert in den Sommermonaten auf; Hauptrisikomonat im Untersuchungsgebiet ist der Mai.

4.1.2.5. Wind

Der Wind ist im Gegensatz zu vielen anderen atmosphärischen Parametern eine vektorielle Größe. Die Bedeutung dieser Klimavariablen besteht darin, dass der Wind das Transportmittel darstellt, mit dem Eigenschaften der Atmosphäre an die Erdoberfläche hin, oder Eigenschaften der Erdoberfläche von dieser weg in die Atmosphäre transportiert werden. Die genaue Kenntnis der Strömungsbedingungen stellt für die in dieser Arbeit zu ermittelnden Aussagen eine wichtige Grundlage dar.

Für die Beurteilung menschlicher Eingriffe in die Naturlandschaft spielt immer wieder die Frage nach der Durchlüftung einer Region eine Rolle. Bei sommerlichen Hitzeperioden z.B. hält eine, wenn auch nur schwache, Luftbewegung den Anstieg der Lufttemperatur in Grenzen. In ähnlicher Weise sorgt sie in den Wintermonaten für einen Abtransport

der in Rheinnähe liegenden und mit vielfältigen Schadstoffen angereicherten Luft (FIEDLER, 1995).

Schließlich stellt die Windgeschwindigkeit auch für die Behandlung von Fragen des Natur-, Wärme- und Wasserhaushaltes eine Steuerungsgröße dar. Die Bedeutung des Wasserhaushaltes bei Landnutzungsänderungen macht es notwendig, die Flächenverdunstung so exakt wie möglich zu ermitteln. Die derzeitige Nutzung (Wald, landwirtschaftliche Flächen) bleibt bestehen. Hierzu sind die ökologischen Flutungen notwendig. Die Wirkung der Flutungen wird in einer Anpassungs- und Umwandlungsphase auenartige Waldgesellschaften weiterentwickeln, die wissenschaftlich als Landnutzungsänderungen anzusehen sind. Die Windgeschwindigkeit als Ventilationsterm stellt neben dem Bodenfeuchteangebot, dem Sättigungsdefizit der Luft und dem Energieangebot (Sonneneinstrahlung) die wichtigste Eingangsgröße dafür dar.

Unter Wasserhaushalt wird die vollständige Lösung der Wasserhaushaltsgleichung verstanden:

$$N = A + V + (R - B)$$

N = Niederschlag, A = Abfluss, V = Verdunstung, R = Rücklage (Speicherung) und B = Verbrauch (KUTTLER, 1995).

Die Betrachtung der Windverhältnisse im eigentlichen Untersuchungsgebiet offenbart zunächst die starke Kanalisierung des Windes mit Windrichtungen in der Streichrichtung des Oberrheingrabens selbst, verbunden mit Mitführeffekten des Rheins (und des Rheinseitenkanals) in seiner unmittelbaren Umgebung. Am deutlichsten wird dies durch die Auswertungen der Stationen Neuenburg und Bremgarten, die beide südlich des Untersuchungsgebietes den Windvektor messen.

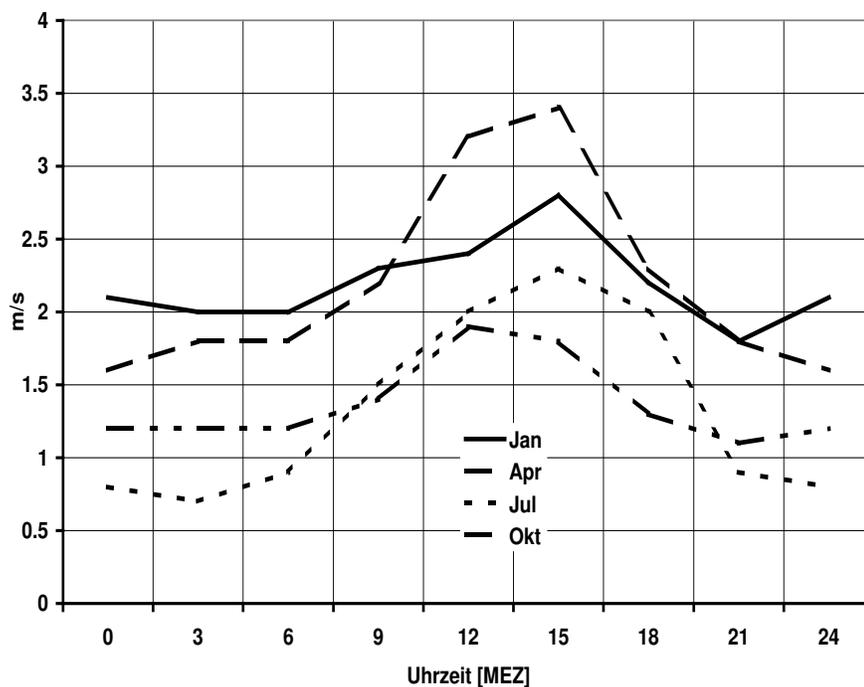
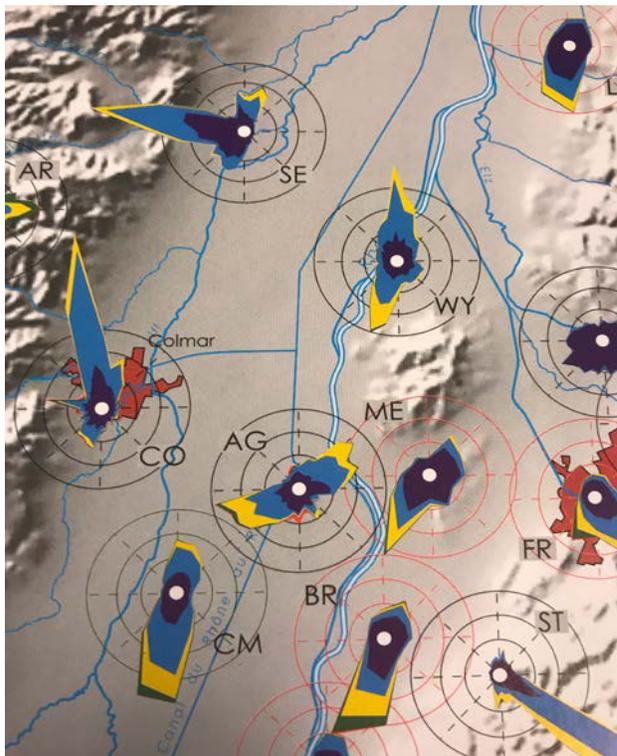


Abb. 16: Mittlere Tagesgänge der Windgeschwindigkeit in Bremgarten (Flugplatz) für die Monate Januar (durchgezogen), April (langgestrichelt), Juli (gestrichelt) und Oktober (strichpunktiert).

Abbildung 16 stellt mittlere Tagesgänge der Windgeschwindigkeit aus der südlichen Umgebung des Untersuchungsgebietes dar, ebenfalls im Zentralteil des südlichen Oberrheingrabens gelegen. Die dargestellten mittleren Verhältnisse zeigen eine Erhöhung der bodennahen Windgeschwindigkeiten am Tage in allen Monaten. Diese kommt durch den thermisch bedingten turbulenten Austausch zustande, durch den Luftmassen mit größeren Windgeschwindigkeiten aus höheren Luftschichten in die bodennahe Atmosphäre eingemischt werden. Im Frühjahr kann ein Luftpaket im Mittel den geplanten Rückhalteraum aufgrund seiner Horizontalgeschwindigkeit in den Mittagsstunden in 12 Minuten in West-Ost-Richtung überstreichen. Die Längserstreckung des RHR ergibt bei einer Windgeschwindigkeit von 3,5 m/s eine Kontaktdauer der überstreichenden Luftmasse mit der Polderoberfläche von knapp 30 Minuten.

Zur Beurteilung der potenziellen Wirkung von Landnutzungsänderungen, wie beispielsweise dem vorgesehenen überflutungstoleranten Waldökosystem, ist es notwendig, die Verbreitung des von ihr ausgehenden Signals zu betrachten. Hierzu eignen sich besonders Windrosen, die kombinierte Darstellung von Windrichtung und -geschwindigkeit. Für die Betrachtung der atmosphärischen Transportverhältnisse im Untersuchungsraum bietet der für derartige Planungszwecke konzipierte REKLIP-Klimaatlas (FIEDLER, 1995) Anhaltspunkte, aufgeteilt in verschiedene Windgeschwindigkeitsklassen und nach Jahreszeiten differenziert.



SE = Schlettstadt
 WY = Wyhl
 ME = Merdingen
 AG = Algolsheim
 CO = Colmar
 BR = Breisach
 FR = Freiburg
 CM = Colmar - Meyenheim
 ST = Staufen



Abb. 17: Mittlere Jahreswindrosen aus der Umgebung des Untersuchungsgebietes (Mittelungszeitraum 1981 – 1990) (Fiedler, 1995 (Hrsg.).

Abbildung 17 zeigt die Verteilung von Windgeschwindigkeit und Windrichtung im Jahresmittel (Mittelungszeitraum 1981 – 1990). Hierbei zeigt sich im Untersuchungsgebiet eine Dominanz südsüdwestlicher und nordnordöstlicher Windrichtungen, sowohl was die Richtung, als auch was die Stärke anlangt.

Im tageszeitlich wechselnden Windregime wird sichtbar, daß lokale Windsysteme, die an den westlichen und östlichen Gebirgsrändern des Oberrheingrabens auftreten (z.B. Höllentäler, Elztäler) nicht bis zum zentralen Teil der Ebene durchgreifen können. D.h., die lufthygienische Wirkung dieser Winde ist im Untersuchungsgebiet nicht zu spüren. In der Umgebung des Untersuchungsgebietes selbst werden keine lokalen Windsysteme gemessen (Kaiserstuhl, Tuniberg), auch werden keine beobachtet.

Abb. 18 zeigt mittlere Windrosen in den Wintermonaten. Deutschland liegt in der Westwindzone der gemäßigten Breiten, wobei das Oberrheintal der Westkomponente der vorherrschenden Winde eine Südkomponente hinzufügt. Bei Hochdrucklagen, vor allem im Sommer, wird dagegen eine Nordkomponente beobachtet.

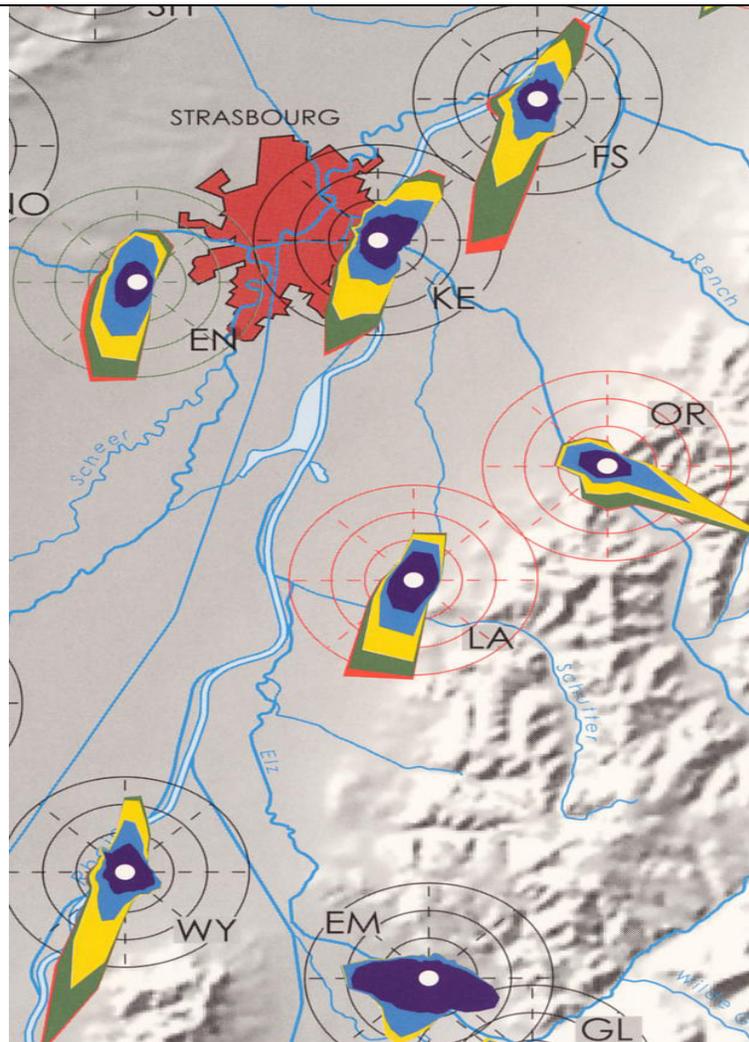


Abb. 18: Mittlere Windverhältnisse nördlich des Untersuchungsgebietes im Winter. Legende wie Abb. 17 (Fiedler, 1995 (Hrsg.)).

Die Betrachtung der mittleren Windverhältnisse des Untersuchungsgebietes wird abschließend ergänzt durch ihre Darstellung bei Anströmung aus dem Westen und aus dem Osten aus Simulationsrechnungen (ADRIAN & FIEDLER, 1991). Die vektorielle Kartographie der Modellergebnisse zeigt Abbildung 19. Das Bezugsniveau liegt bei 25 m über Grund.

Anhand der Länge der Pfeile, die dem Betrag der Geschwindigkeit des Windes entsprechen, können die Auswirkungen dieses Strömungsfeldes auf die Transportbedingungen für Wasserdampf und Luftschadstoffe abgeleitet werden.

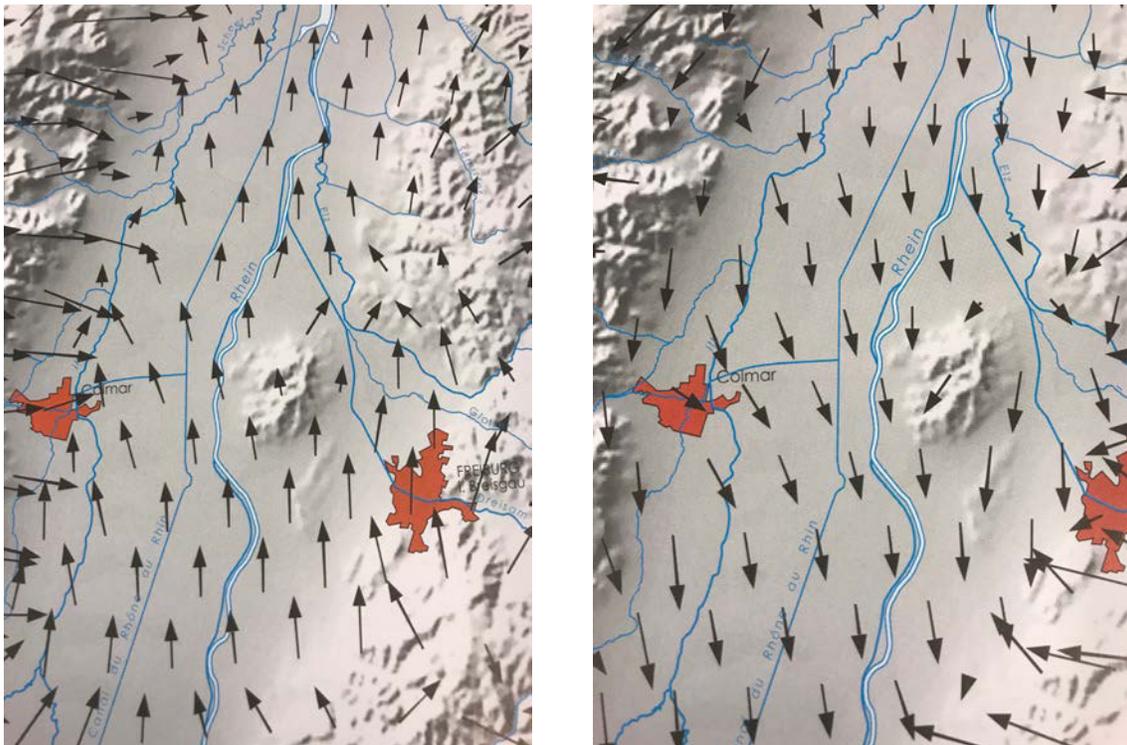


Abb. 19: Ergebnisse von Strömungssimulationsrechnungen im Oberrheintal. Linke Karte: westliche Anströmrichtung, rechte Karte: östliche Anströmrichtung (Fiedler 1995 (Hrsg.)).

4.1.3. Physikalische Grundlagen des Klimas

4.1.3.1. Die Strahlungsverhältnisse

Die solare und die terrestrische Strahlung sind „nichtprimitive“ Klimaelemente, die zu den physikalischen Grundlagen des Klimas gehören. Ihre Bestimmung geht über die Messungen der traditionellen Klimamessnetze hinaus, was zur Folge hat, daß sie als Sondermessungen relativ spärlich zu erhalten sind. Andererseits ist die Bewertung der Strahlungsverhältnisse, und hier insbesondere der Strahlungsbilanz, von großer Bedeutung für den Energieumsatz an der Erdoberfläche und damit auf deren Wirkung auf die vorgesehene Hochwasserschutzmaßnahme.

Diese wird wie folgt formuliert:

$$Q + B + H + \lambda E = 0$$

mit: Q = Strahlungsbilanz, B = Bodenwärmestrom, H = turbulentem Strom fühlbarer Wärme und λE = turbulentem Strom latenter Wärme (Verdunstung, Taufall, Reif). Weitere Energieströme (Photosynthese, Niederschlag) können aus quantitativen und messtechnischen Gründen vernachlässigt werden (GEIGER, 1961). Die Strahlungsbilanz Q ist die Treibkraft der Energieumsätze (forcing function) an der Erdoberfläche. Sie setzt sich zusammen aus:

$$Q = G - R + A - E$$

Wobei Q , die Strahlungsbilanz, gebildet wird aus der kurzwelligigen Einstrahlung G , der Globalstrahlung (direkte Sonnenstrahlung und diffuser Himmelsstrahlung), der kurzwelligigen Reflexstrahlung R und den langwelligen Komponenten A und E . A ist die langwellige atmosphärische Gegenstrahlung und E die langwellige Ausstrahlung der betrachteten Erdoberfläche.

Die Strahlungsbilanz wird am Tage von der Globalstrahlung (Abb. 20) dominiert. Dabei kann man im gesamten Untersuchungsgebiet im Mittelungszeitraum von 1976 bis 1989 im Januar einen Genuß an Globalstrahlung zwischen 800 und 1.000 kWh/m² angeben (CZEPLAK ET AL. in FIEDLER, 1995). Im April steigt dieser Wert auf 3600 bis 3800 kWh/m² an. Der Juli, mit seiner Möglichkeit, neben dem Juni astronomisch die höchste kurzwellige Strahlung anzubieten, erreicht sie im Untersuchungsgebiet Werte über 5.200 kWh/m² bis 5.600 kWh/m². Im Oktober werden zwischen 1.600 und 2.000 kWh/m² gemessen.

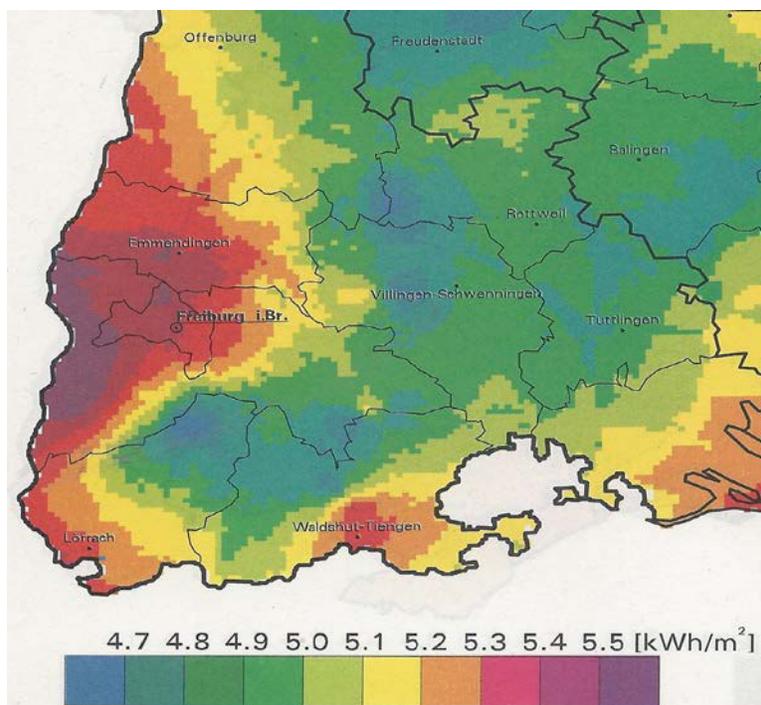


Abb. 20: Mittlere Tagessummen der Globalstrahlung im Juni, Zeitraum 1976 – 1989

Weiter ins Detail gehen die Untersuchungen an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Instituts der Universität Freiburg (siehe Abb. 21), die südlich des Untersuchungsgebietes liegt (JAEGER, 1978).

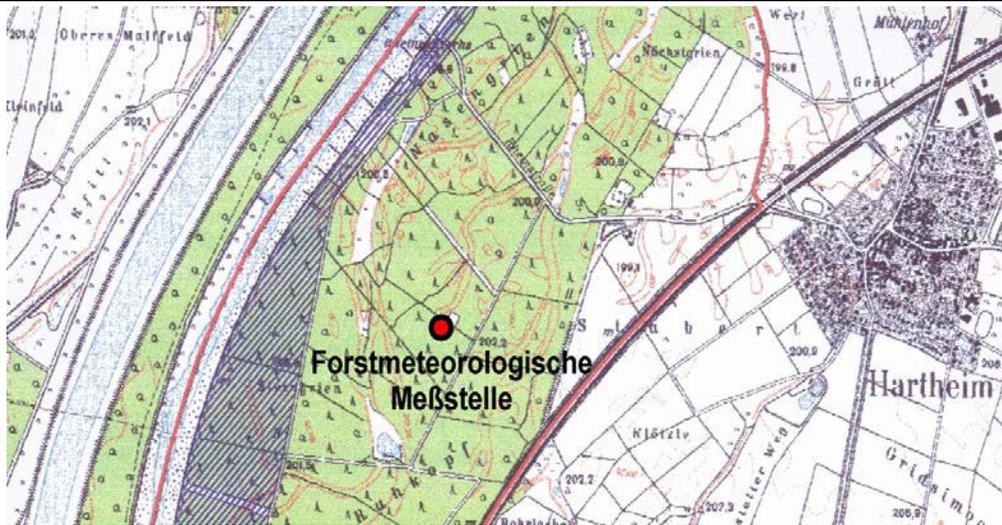


Abb. 21: Lage der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim des Meteorologischen Instituts der Universität Freiburg, Kartenausschnitt (verändert) aus dem Entwurf des Untersuchungsrahmens für den 90-Meter-Streifen (GEWÄSSERDIREKTION, 1998).

In Hartheim stehen zur Beurteilung des Strahlungshaushaltes alle Komponenten der Strahlungsbilanz zur Verfügung (Abb. 22). Die durchgezogene Kurve der Globalstrahlung zeigt eine deutliche Singularität im April, die durch ein klimatologisches Bewölkungsminimum verursacht wird. Die lang gestrichelte Kurve der Reflexstrahlung folgt der Globalstrahlung in einem Verhältnis, das durch die mittlere Albedo von ca. 10% bestimmt ist. Die atmosphärische Gegenstrahlung (kurzgestrichelt) und die langwellige Ausstrahlung des Hartheimer Kiefernbestandes (kurz – lang gestrichelt) haben einen leichten Jahrgang mit Maximalwerten im Sommer. Die Bewölkungssingularität im April zeigt sich in den langwelligeren Komponenten der Strahlungsbilanz in einer leichten Depression.

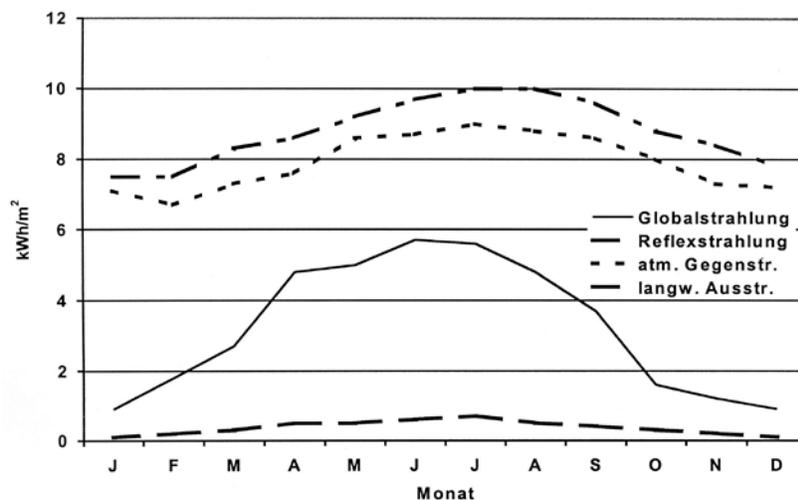


Abb. 22: Mittlerer Jahrgang der Tagessummen der Komponenten der Strahlungsbilanz an der Station Hartheim (Mittelwerte der Jahre 1974 – 1988)

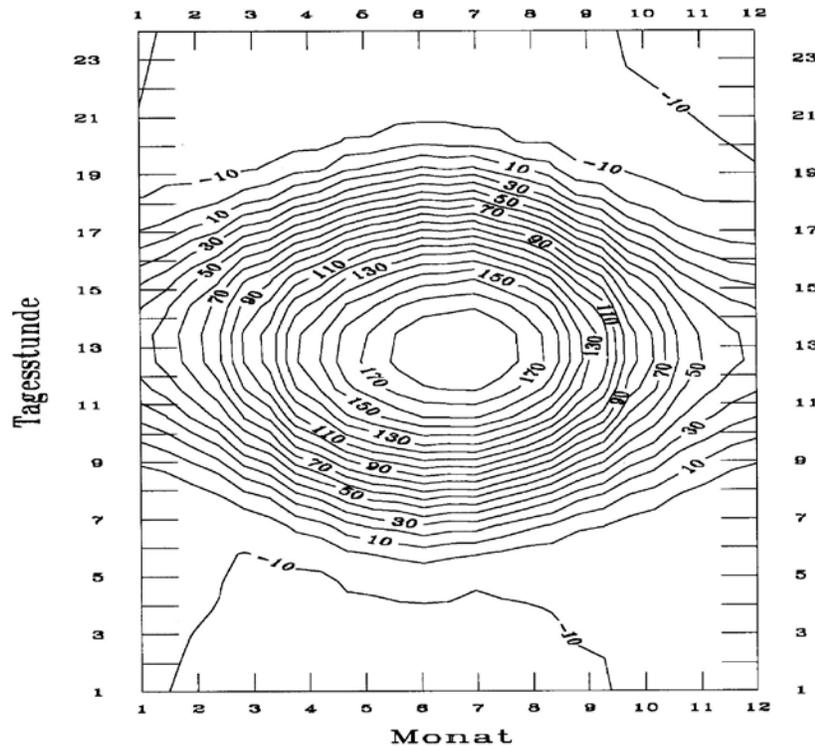


Abb. 23: Isoplethen der Strahlungsbilanz (Mittelungszeitraum 1974 bis 1991) in Hartheim in $\text{J}/\text{cm}^2\text{h}$

Die Strahlungsbilanz selbst ist in ihrem mittleren jährlichen und tageszeitlichen Gang durch Isoplethen in Abbildung 23 dargestellt (JAEGER, 1993). Ihre höchsten Werte treten um die Mittagszeit (MEZ) in den Monaten Juni und Juli mit Beträgen von über $180 \text{ J}/\text{cm}^2\text{h}$ auf. Nach Sonnenuntergang sinken die Werte in allen Monaten unter $-10 \text{ J}/\text{cm}^2\text{h}$ ab, um kurz nach Sonnenaufgang wieder in den positiven Bereich zu geraten. Der Übergang von positiver Strahlungsbilanz am Nachmittag zum Minimum am Abend geht schneller vonstatten, als der umgekehrte Vorgang am Morgen. Der März weist im Mittel mit 10 Stunden die längste Andauer negativer Strahlungsbilanzwerte auf und damit den klimatologisch längsten Zeitraum, der zur Tau- und Reifbildung zur Verfügung steht.

Wenn die Strahlungsbilanz der Erdoberfläche genügend Energie zur Verfügung stellt, nutzt sie diese um einerseits die bodennahe Luft zu erwärmen. Andererseits steht dann den Vegetationsdecken Energie zur Verfügung, um durch Verdunstung Wasserdampf an die Atmosphäre abzugeben. Bei negativer Strahlungsbilanz wird der Oberfläche durch Kondensationswärme (Tau) oder Gefrierwärme (Reif) Ausgleichsenergie zur Verfügung gestellt. Das Kronendach des Auwaldes, etwa im RHR, vermindert die Steuergröße negative Strahlungsbilanz. Ebenso die Kürze der Nacht im Sommer.

Die in die Strahlungsbilanz eingehende kurzwellige Reflexstrahlung wird in Hartheim von einer Albedo von etwa 10% gesteuert (KESSLER, 1985a, KESSLER & JAEGER, 1993). Weitere, im Untersuchungsgebiet relevante Albedowerte weisen Laubwälder mit ca. 20%, Rasenflächen mit 20 – 25%, Sandflächen mit 25% und Schotterfelder mit 25 – 30% auf (KESSLER, 1983).

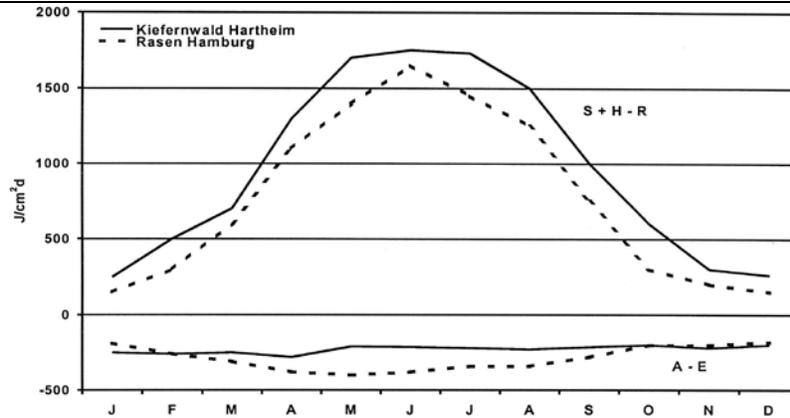


Abb. 24: Jahresgang der mittleren Tagessummen der kurzwelligen Strahlungsbilanz $Q_k = S + H - R$ und der effektiven Ausstrahlung (langwellige Strahlungsbilanz) $Q_L = A - E$, Mittelwerte der Jahre 1974 – 1977.

Die kurzwellige Albedo ist der Hauptgrund, dass die Oberfläche eines Nadelwaldes die im Vergleich zu anderen Oberflächentypen höchste spezifische Strahlungsbilanz besitzt. Dieses Rückstrahlungsvermögen verursacht einen großen kurzwelligen Strahlungsgewinn. Verbunden mit einer gleichfalls geringen langwelligen Emission vergrößert sich auch die langwellige Bilanz (JAEGER UND KESSLER, 1980). Vergleichend wird hier in Abb. 24 auf eine Untersuchung über Rasen in Hamburg hingewiesen.

4.1.3.2. Sonnenscheindauer und Bewölkung

Mittlere Tagessummen von Sonnenscheindauer (Mittelungszeitraum 1976 bis 1989) (CZEPLAK ET AL. in FIEDLER, 1995) und mittlere Bedeckungsgrade aus Satellitenszenen des Jahres 1991 (PARLOW & HEIZMANN in FIEDLER, 1995) lassen sich für das Untersuchungsgebiet aus dem REKLIP-Klimaatlas entnehmen (siehe Abb. 25).



Abb. 25: Mittlerer Bedeckungsgrad bezogen auf das Gesamtjahr im Jahre 1991. Hellgrau: 62 – 65 %, dunkelgrau: 65 – 68 %

Im Januar werden im Untersuchungsgebiet 0,5 bis 1 Sonnenstunde gezählt. Im April erhöht sich die Anzahl auf 5 – 5,5 Stunden. Im Juli scheint die Sonne 7 Stunden, während im Oktober 2,5 bis 3,0 Stunden Sonnenstrahlungsgenuss zu verzeichnen sind.

Der mittlere Bedeckungsgrad liegt zwischen 62 und 68%. Dies sind die Verhältnisse für das Gesamtjahr. Im Januar ist das Untersuchungsgebiet zu 75 bis 80% bedeckt, Im April zu 45 bis 50. Im August ergibt sich eine Bedeckung mit Wolken von 55 bis 60 %, im Oktober 45 bis 50%.

4.1.3.3. Die Verdunstung

Hydrologische Untersuchungen haben gezeigt, dass unter den klimatischen Gegebenheiten des rheinnahen südlichen Oberrheingebietes ein Jahresniederschlag von mindestens 800 mm notwendig wäre, um den Wasserverbrauch von Vegetation und Verdunstung zu decken (v. RUDLOFF, 1952). Im Untersuchungsgebiet wird der jährliche Gesamtniederschlag vollständig von den unbewachsenen Oberflächen verdunstet und von den Vegetationsdecken in die Atmosphäre transpiriert.

4.2. Die Wirkung der Überflutungen

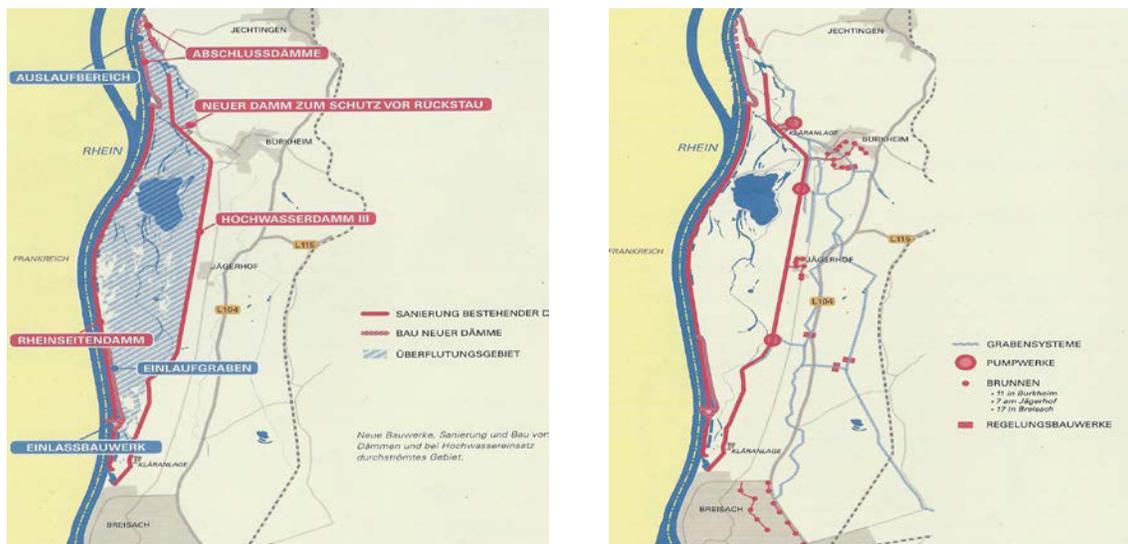


Abb. 26: Der Rückhalteraum Breisach/Burkheim im gefluteten und ungefluteten Zustand.

Die Landesanstalt für Umweltschutz in Karlsruhe hat in der Überflutungsau des Rheins bei Plittersdorf im September 1991 Messfahrten durchgeführt. Dabei wurden zweimal am Tag (um 11 Uhr und um 17 Uhr) 16 Messpunkte angefahren von denen jeweils die Hälfte in einem Wald der trockenen Altaue und im Wald der Überflutungsau lagen. Die gemittelten Ergebnisse zeigt Abb. 27 (WAGNER & AHRENS, 1991).

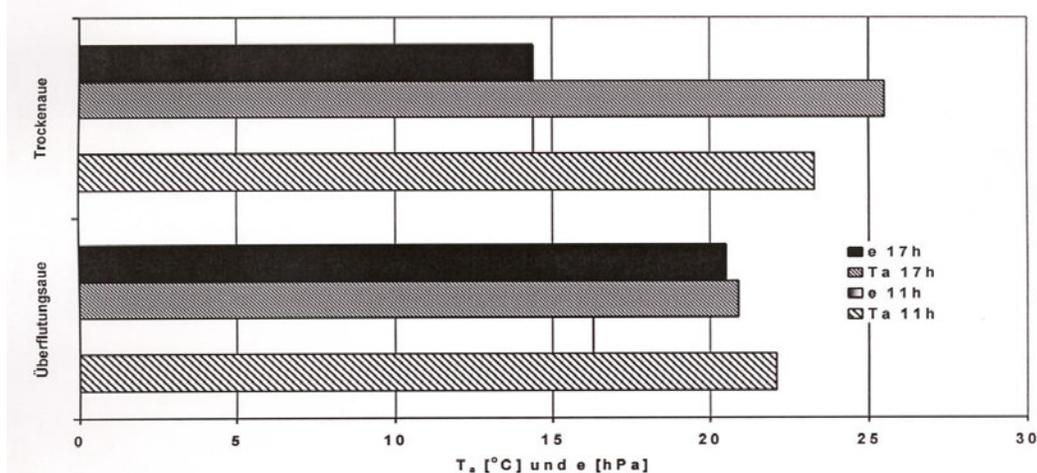


Abb. 27: Ergebnisse von Messfahrten im Gebiet Plittersdorf. Mittlere Werte der Luftfeuchte (Dampfdruck) und Lufttemperatur am 5.9.1991, Situation am Vormittag und am frühen Abend.

Die Meßergebnisse zeigen besonders große Feuchteunterschiede zwischen beiden Waldtypen (schwarze Säulen), die sich im Tagesgang mit 7 Hektopascal noch verstärken. Hingegen verstärkt sich der Temperaturgegensatz mit um 5 Grad höheren Abendtemperaturen in der trockenen Rheinaue. Diese Untersuchung wird hier angeführt, weil

Plittersdorf, tockene Altaue und Plittersdorf, Wald der Überflutungsauwe mit RHR, Normalbetrieb und RHR, Überflutungsfall oder ökologische Flutung vergleichbar sind.

(CHORLEY, 1974). Die die Verdunstungshöhen steuernden Faktoren heißen Energietherm (im wesentlichen Strahlungsbilanz), Ventilationsterm (Wind und Turbulenz), Feuchte-term (Sättigungsdefizit) und Oberflächeneigenschaften. Zu letzterem gehören die Wassertiefe, die einen Einfluss auf die Wassertemperatur ausübt, Buchten und Böschungs-formen.

Das Kronendach des Auwaldes steuert den Energietherm und den Ventilationstherm im Hinblick auf ein geringeres Verdunstungsvermögen des RHR (Gleichung in Punkt 4.1.3.1). In gleiche Richtung wirkt die Fließturbulenz der ökologischen Flutungen auf die Wassertemperatur. Beide Faktoren wirken der lokalen Nebelbildung entgegen.

4.2.1. Nebelbeeinflussung durch den gefluteten Rückhalteraum

Eine mikroklimatologische Beeinflussung der Umgebung des RHR ist unwirksam und auszuschließen, dies umso mehr, je mehr man sich von der ökologisch gefluteten Fläche entfernt. Dies ist zwar trivial, soll aber in Erinnerung rufen, dass spezifische Mikroklimata sich dann ausbilden, wenn die Wetterlagen antizyklonal sind und nur geringe horizontale Luftbewegung herrscht. Aber dann können sich die Eigenschaften, die durch eine vorhandene Wasseroberfläche der auflagernden Luft mitgeteilt werden, nur wenig der Umgebung mitteilen. Mit anderen Worten: der über dem gefluteten Rückhalteraum kondensierte Wasserdampf bleibt über seinem Entstehungsgebiet gefangen.

Was nun den Wasserdampf angeht, von dessen Anreicherung in der Luft eine nebelbildende Wirkung ausgeht, ist folgendes festzustellen. Lokale Nebelfelder über dem gefluteten Untersuchungsgebiet, verursacht durch Verdunstung am Tage, mit nächtlicher Kondensation des nichtabtransportierten Wasserdampfs, lösen sich bei Tagesanbruch wieder auf.

Der durch herbstliche und winterliche Wetterlagen verursachte großräumige und z.T. langlebige Nebel im zentralen Oberrheintal ist anders zu beurteilen. Verdunstung ist ein energieverbrauchender Prozess, der im Wesentlichen durch die Strahlungsbilanz gesteuert wird. Wie oben schon gesagt, setzt sich die Strahlungsbilanz aus kurzweiliger Einstrahlung (Globalstrahlung \downarrow), kurzweiliger Reflexion (Reflexstrahlung \uparrow , bei Wasser etwa 5% der Globalstrahlung), langweiliger Strahlung von oben (\downarrow) und langweiliger Emission der (Wasser)-oberfläche (\uparrow) zusammen. Die langweiligen Strahlungsströme sind ganztägig in ihrer Summe negativ. Die Globalstrahlung ist die wichtigste Komponente in der Zusammensetzung der Strahlungsbilanz.

Im Winter ist die kurzweilige Einstrahlung aufgrund des niedrigen Sonnenstandes gegenüber dem Sommer reduziert. Bei Nebel wird zusätzlich die direkte Sonnenstrahlung abgeschirmt, so dass nur eine geringe Strahlungsbilanz über den Wasserflächen übrig bleibt. Überdies ergeben sich nur tagsüber positive Werte, da kurzweilige Strahlungsströme nachts fehlen. Aufgrund dieses geringen Strahlungsbilanzangebotes ist es nicht möglich, dass nennenswerte Wassermengen verdunsten.

Bei (Boden-)nebel beträgt die Luftfeuchtigkeit 100%. Verdunstung benötigt einen Wasserdampfgradienten in der Luft, der von der Wasseroberfläche in die darüber gelegene

Luft gerichtet ist. Bei 100% Luftfeuchte baut sich kein Gradient auf. Dies hemmt die Verdunstung zusätzlich und wirkt nicht nebelverstärkend.

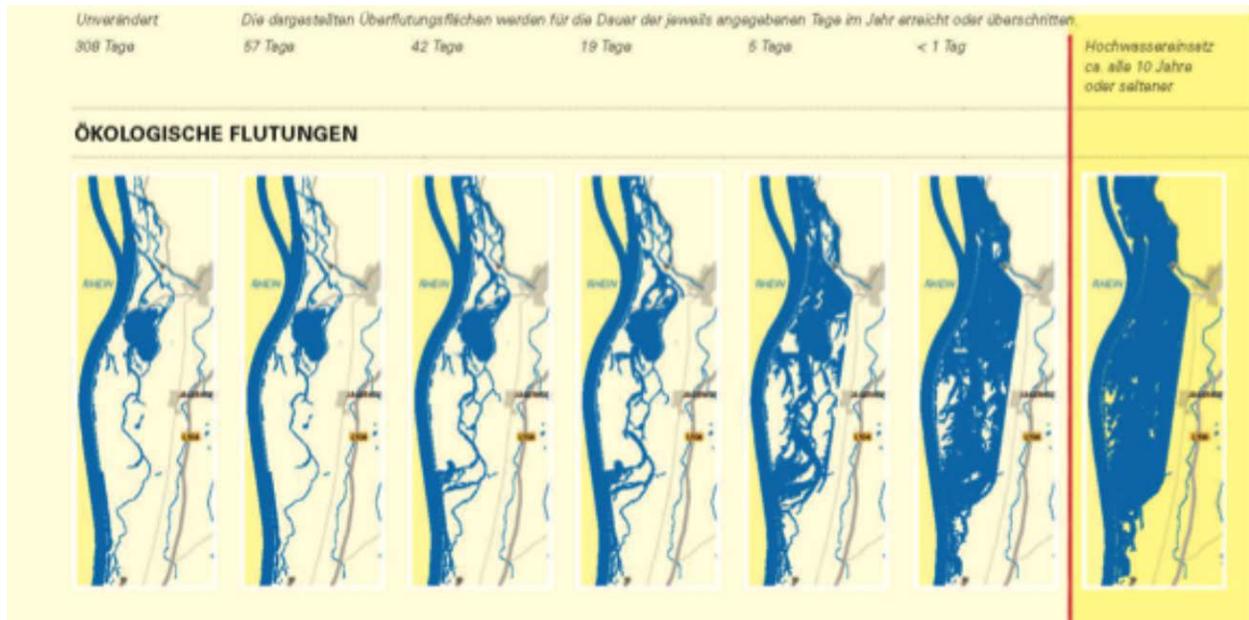


Abb. 28: Ökologische Flutungen im RHR Breisach/Burkheim

Neben den rein physikalischen Vorgängen der Nebelbildung ist auch der langjährige Mittelwert des zeitlichen Anteils der Flutungen an dem Gesamtzeitraum eines Jahres zu betrachten.

Bereits heute sind ca. 73 ha Gewässerflächen im Rückhalteraum vorhanden. Davon entfallen 44 ha offene Wasserfläche auf den Baggersee. Die direkt angrenzende Dauerwasserfläche der Stauhaltung Marckolsheim umfasst dagegen ca. 210 ha. Hinzu kommen ca. 11 ha Wasserflächen binnenseits zwischen dem geplanten Rückhalteraum und dem Kaiserstuhl.

Die vorhabensbedingten, temporär überfluteten Flächen beim höchstens alle 10 Jahre über eine Dauer von 6 bis 9 Tagen zu erwartenden Einsatz zum Hochwasserrückhalt betragen zusätzlich ca. 489 ha. Bei ökologischen Flutungen entstehen an 19 Tagen ca. 81 ha, an 5 Tagen ca. 234 ha und an einem Tag ca. 353 ha zusätzliche Wasserflächen. D.h. die Dauerwasserflächen des Rheins und des Baggersee von 254 ha betragen bereits ganzjährig 72 % der im Mittel eintägig auftretenden temporären zusätzlichen Wasserflächen des Rückhalterumes Breisach/Burkheim bei ökologischen Flutungen.

Aus den genannten Gründen (und aus einigen weiteren, z.B. abschirmendes Blätterdach) ist der Beitrag der Überflutungen zu einer Wasserdampfanreicherung der Luft bei Nebelsituationen zu vernachlässigen. Auch eine Triggerung, d.h., Auslösung der Nebelentstehung bei zunächst klarer Luft ist aufgrund des geringen Wasserdampfangebotes wegen der geringen Flächenausdehnung der Überflutungsflächen (maximal zusätzlich 489 Hektar) über den Wasserflächen nicht möglich.

4.3. Die Auswirkungen der geplanten Maßnahmen

4.3.1. Die bioklimatologischen Verhältnisse

Im Bereich des geplanten RHR ist die Landnutzungsform Wald (Laub-, Nadel- und Mischwälder) anzutreffen. Weiterhin sind landwirtschaftliche Nutzflächen (Getreide, v.a. Mais, Gemüse, Wein- und Obstbau), Siedlungs- und Verkehrsflächen zu nennen. Regionalplanerisch bezogene Studien des Deutschen Wetterdienstes ergaben mittlere Anhebungen der Minimumtemperaturen bei Umwandlung von Ackerflächen in freie Wasseroberflächen von $1,5^{\circ}\text{C}$, bei Wäldern weniger. Aufgrund der hohen spezifischen Wärme von Wasser und der in die gleiche Richtung wirkenden Verdunstungskälte werden bei Rheinhochwasser und ökologischen Flutung die Maximaltemperaturen verringert. Dies würde, im Sommer eine Verringerung des in der Oberrheinebene stark ausgeprägten Hitzestresses verursachen, wohlgemerkt, nur in der näheren Umgebung der Überflutungsfläche. Der winterliche Kältereiz ist ohnehin von untergeordneter Bedeutung im Untersuchungsraum. Dies gilt auch für die Frostgefahr.

4.3.2. Das Wuchsklima

Agrarmeteorologische Auswirkungen sind aufgrund der geringen Breite des geplanten Rückhalteraums vernachlässigbar. (maximale Breite: ca. 1,5 km, Länge des RHR: 6 km). Der beim Deutschen Wetterdienst gebräuchliche Trockenheitsindex nach Reichel liegt im Untersuchungsgebiet zwischen 35 und 40. Da in der zu Grunde liegenden Formel die Temperatur im Nenner eingesetzt wird, wird sich bei Absenkung der Temperatur der Trockenheitsindex in der Umgebung der geplanten Überflutungsflächen leicht erhöhen. Das Wuchsklima nach Ellenberg, hier mit den Stufen III (sehr warm) und IV (warm) wird durch die Maßnahme nicht berührt (ELLENBERG, 1996).

4.3.3. Windverteilung und Zirkulation

Windgeschwindigkeiten sind höhenabhängig. Die Änderung der Windgeschwindigkeit mit der Höhe erfolgt logarithmisch, wobei der Wind an der Erdoberfläche selbst gleich null wird. Vegetationsdecken oder Bebauung heben das logarithmische Windprofil von der Erdoberfläche ab. Der Betrag dieser Anhebung wird als Nullpunktverschiebung d bezeichnet. Außerdem wirkt die Gestalt der Oberfläche auf das Windprofil ein. Dies wird mit der sogenannten Rauigkeitslänge z_0 beschrieben und berechnet (MONTEITH 1978).

Ein mittlerer Wert der Windgeschwindigkeit für Freiflächen in Deutschland im Höhenintervall 150 – 250 m wird vom DWD mit 1 - 2 m/s angegeben (BENESCH ET AL., 1978). Auf dem Flugplatz Bremgarten südlich des Untersuchungsgebietes in der Rheinebene wurde ein mittlerer Jahreswert von 3,3 m/s (Messhöhe: 10 m über Rasen) errechnet (JAEGER, 1985a). Der von der LFU herausgegebene Solar- und Windatlas von Baden-Württemberg (1995) weist dem RHR Breisach/Burkheim die Windgeschwindigkeitsklassen 0 – 1,5 und 1,5 – 2,0 m/s zu (mittlere jährliche Windgeschwindigkeit 10 m über Grund) (Abb. 29).

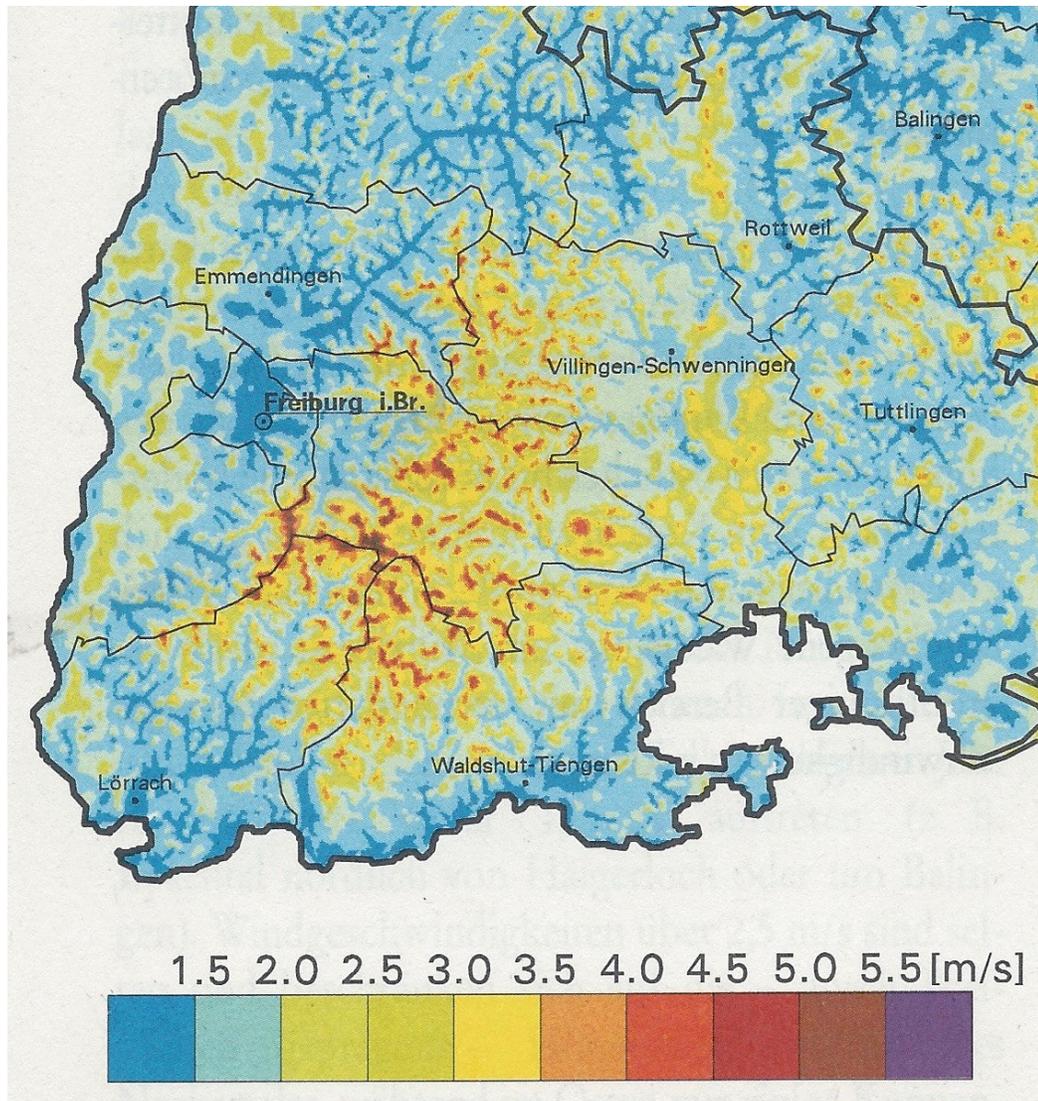


Abb. 29: Mittlere jährliche Windgeschwindigkeit 10 m über Grund Im Untersuchungsraum und seiner Umgebung

Wasserflächen haben eine sehr geringe Rauigkeitslänge z_0 . Sie liegt nach GEIGER (1961) zwischen 10^{-3} und 10^{-4} m, je nach Wellengang. Dazu kommt, dass die Verdrängungshöhe d gleich null ist, weil keine Vegetationsdecke das logarithmische Windprofil von der Oberfläche abheben kann. Dies würde die mittlere Windgeschwindigkeit erhöhen.

Das angestrebte Planungsziel – hochwassertolerante Auwald-Gesellschaften – ändert die Oberflächenrauigkeit nicht und hat nicht den geringsten Einfluß auf die lokalen und regionalen Windverhältnisse im zentralen Oberrheintal.

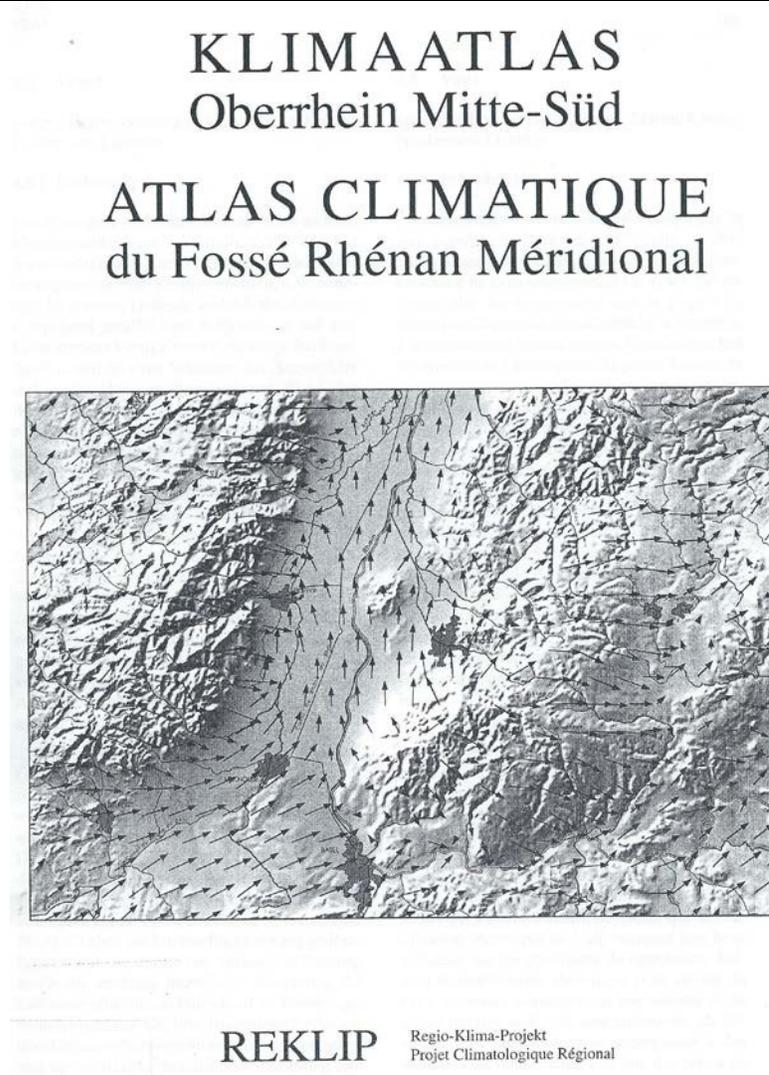


Abb. 30: Titelseite des REKLIP-Atlas (Fiedler 1995)

Was die Windrichtung anlangt, so ist festzustellen, dass das Rheintal die durch die Wetterlagen aufgeprägten Strömungen kanalisiert. Vorherrschend sind bei zyklonalen Wetterlagen süd-süd-westliche Winde, bei antizyklonalen Wetterlagen nord-nord-östliche Luftströmungen. Die geplante Maßnahme ist sehr kleinräumig und hat auf die mesoskaligen, das gesamte Untersuchungsgebiet umfassenden Windrichtungsverhältnisse keine Auswirkung.

4.3.4. Lokale Windfeldstörungen

Zur Klärung der lokalen Windrichtungsbeeinflussung wird das für den weiter südlichen 90m-Streifen untersuchte Analogon herangezogen. Dabei wurden folgende Windrichtungsmessungen benutzt:

- Station Merdingen, betreut vom Deutschen Wetterdienst
- Station Hausen an der Möhlin des Bundesamtes für Zivilschutz
- Forstmeteorologische Messstelle des Meteorologischen Institut der Universität Freiburg
- Station Bremgarten des Landesamtes für Umweltschutz
- ehemaliger Fliegerhorst Bremgarten, Geophysikalischer Beratungsdienst der Bundeswehr

Die Lage der Stationen ist in Abb. 31 dargestellt. Die Station Merdingen liegt nordwestlich des Ortskernes in offenem, ebenem Gelände mit landwirtschaftlicher Mischnutzung, auf dem Gelände eines Bundeswehrdepots. Die Station Hausen liegt ebenfalls in offenem Gelände. Der Windmesser ist auf dem Dach des Wasserwerkes der Freiburger Energie- und Wasserversorgung installiert. Die Windrichtung in Hartheim in unmittelbarer Nähe des ebenfalls geplanten 90-Meter-Streifens wird über einem Kiefernwald gemessen (JAEGER, 1978); das weitere Umfeld der Station ist ebenfalls Kiefernwald. Die Station Bremgarten der LfU liegt innerhalb des Untersuchungsgebietes auf dem Rheindamm gegenüber dem elsässischen Kernkraftwerk Fessenheim. D.h., westlich der Station und daher in der Hauptwindrichtung befindet sich das Rheinbett, östlich der Station dehnen sich Waldflächen aus. An der Station selbst findet somit ein Wechsel der Oberflächeneigenschaften statt. Die Station Bremgarten, auf dem ehemaligen Fliegerhorst schließlich, lag westlich der Runway über Rasen in der Nähe eines Waldrandes.

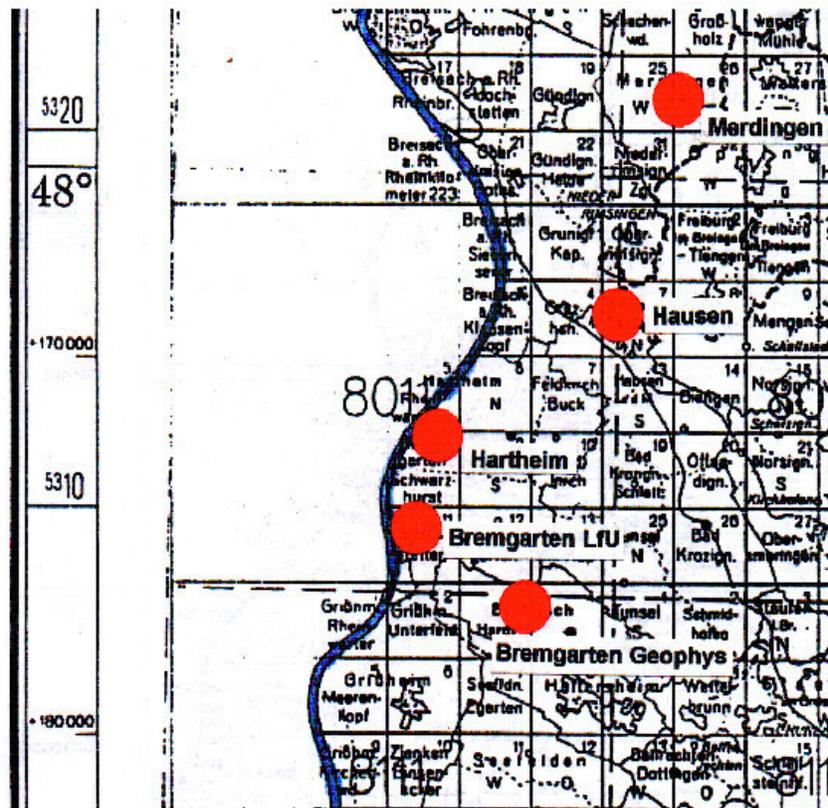


Abb. 31: Lage der verwendeten Messstationen des Windvektors

Bisher berichtete SCHOTT (1980) über die lokalen Windrichtungsverhältnisse im Zusammenhang mit Verdunstungsberechnungen im Untersuchungsgebiet, eine weitere Arbeit stammt von TSCHIERSCHE (1985), die Ausbreitung radioaktiver Emissionen des Kernkraftwerk Fessenheim betreffend. WEIßHAAR (1997) simulierte mit dem Modell KAMM (Karlsruher mesoskaliges Modell) die Windverhältnisse im Oberrheintal im Hinblick auf Möglichkeiten der Windenergienutzung mit sehr guter Übereinstimmung mit den hier beschriebenen Messungen.

Obwohl die Windrichtung an den verschiedenen Messstationen unterschiedlich erfasst wird, weisen alle Windrichtungsverteilungen dasselbe Muster auf, das auch bei WEIßHAAR (1997) zu finden ist. Süd-südwestliche Windrichtungen treten am häufigsten auf, wobei die Dominanz dieser Windrichtung im Winter ausgeprägter ist als im Sommer. Die stärkere zyklonale Tätigkeit des Winterhalbjahres in Mitteleuropa verursacht vor allem in diesen Jahreszeiten vorherrschende Westwinde, die im betrachteten Raum eine südliche Komponente erhalten. An der Station Hausen ist eine geringere Ausprägung der nördlichen Windrichtungen feststellbar. Dies wird mit einem Windschatteneffekt durch den nahen Tuniberg im Norden der Station erklärt. Abgesehen von diesem Sondereffekt in Hausen wird die Gleichartigkeit der Windrichtungsverteilung an allen Stationen festgestellt.

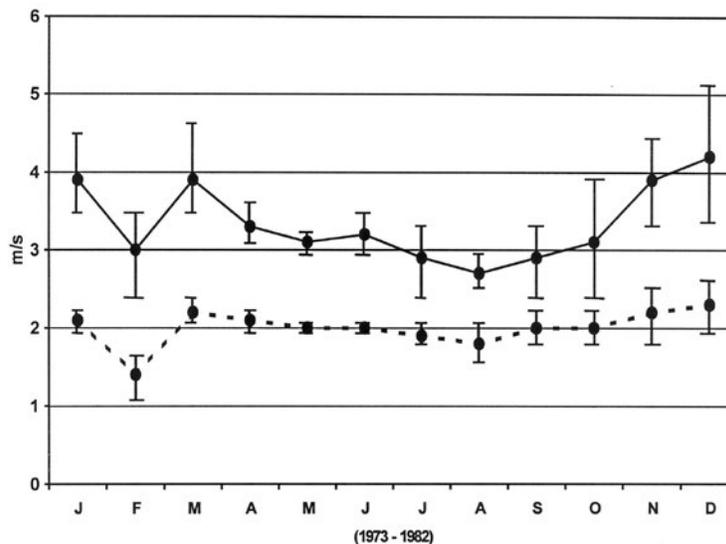


Abb. 32: Mittlere monatliche Windgeschwindigkeiten in Bremgarten (durchgezogen) und Hartheim (gestrichelt). Die vertikalen Balken repräsentieren die Standardabweichungen.

Das gleichartige Muster der Windrichtungsverteilung zeigt, dass die Windrichtungen im Untersuchungsraum unabhängig sind von der Oberfläche, über der sie erfasst werden, ebenso von der Höhe über Grund und den mit dem Windvektor verbundenen Windgeschwindigkeiten. Betrachtet man etwa nur die Schwachwindlagen, so ändert sich die Charakteristik nur unwesentlich. Insbesondere wird darauf hingewiesen, dass die Windrichtung an der Station der LfU, auf dem Rheindamm, gegenüber dem elsässischen Kernkraftwerk Fessenheim, nicht von den Windrichtungen an den anderen Messstationen abweicht. Der RHR Breisach/Burkheim ändert die witterungsbedingt vorgegebene Windrichtung im Untersuchungsraum nicht. Es wird auch kein „Mitführeffekt“ des Windes durch den Rhein oder eine „Kanalisation“ des bodennahen Windes durch das Rheinbett beobachtet. Allein die Witterung bestimmt die lokalen Windrichtungen. Es

existiert ein einheitliches Windfeld im Oberrheintal: größte Rheinnähe weist auch die größte Einheitlichkeit auf. Dies ist das Ergebnis sowohl der Auswertung realer Punktmessungen des Windvektors als auch darüber gelegter flächenhafter Modellierungen des Windfeldes im Untersuchungsgebiet.

4.3.5. Kaltluftbewegungen und Luftaustauschprozesse

Lokale, durch die Vielfalt der Vegetationsbedeckungen verursachte Kaltluftbewegungen müssen gesondert untersucht werden und sind in diesem Rahmen unmöglich.

Das flache Relief des Untersuchungsgebietes erschwert es zudem, theoretisch fundierte Aussagen praktisch anzuwenden. Ab zwei Grad Geländeneigung können sich je nach Art der landwirtschaftlichen Flächennutzung Kaltluftabflüsse bilden. Auch die nächtlich im Kronenbereich von Wäldern durch Ausstrahlung gebildete Kaltluft kann dazu beitragen. Diese sinkt im Stammraum ab und wird durch nachfolgende weitere Luftpakete gezwungen, seitlich aus den Beständen herauszufließen. Fließen Kaltluftmassen in den gefluteten Rückhalteraum ein, erwärmt sich die Luft, da der Wasserkörper wärmer sein wird, als die kaltluftproduzierenden Quellen auf den umgebenden landwirtschaftlichen Nutzflächen. Es kommt dann über dem Wasser zu Nebelbildung, da die Abkühlung durch die einfließende Kaltluft trotz ihrer adiabatischen Erwärmung durch Mischung mit wasserdampfreicher Luft über der Wasseroberfläche zur Taupunktunterschreitung führt (Abb. 35). Die geringe Wasserflächenausdehnung lässt allerdings keine große Ausdehnung dieses Phänomens zu (HÄCKEL, 1999).

Es wird noch einmal betont, dass eine Kaltluftmasse, sei sie autochthon entstanden, oder allochthon, die aus dem Rückhalteraum heraus transportiert wird, zwangsläufig einer nebelauflösenden Turbulenz unterliegt.

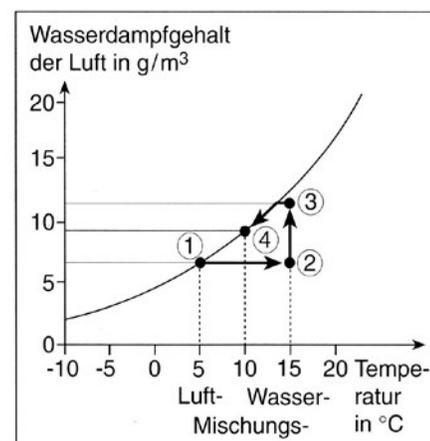


Abb. 33: Entstehung von Mischungsnebel (Seerauch)

4.3.6. Lufttemperaturänderungen

Die Schaffung von Wasserflächen dämpft in deren näherer Umgebung die Amplituden der Lufttemperatur. D.h., sowohl die Maximal- als auch die Minimaltemperaturen fallen weniger extrem aus, wenn man im Untersuchungsgebiet überhaupt von extrem sprechen kann. Das Verhalten unterschiedlicher Oberflächen bei sommerlicher Einstrahlung im Tagesgang hat KESSLER (1971) untersucht. Aus dieser Untersuchung in der Bonner Innenstadt seien folgende drei Oberflächen herausgegriffen: Steinplatte, Rasen und Rhein (Abb. 34).

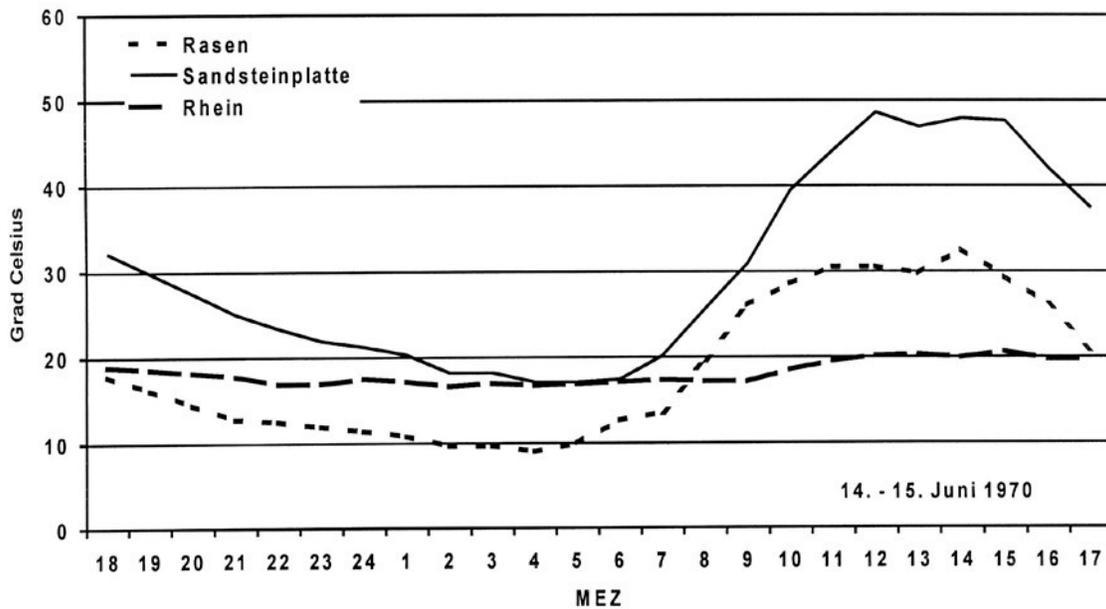


Abb. 34: Tagesgang der äquivalenten Schwarzkörpertemperaturen (Strahlungstemperaturen) einer Steinplatte, von Rasen und der Wasseroberfläche Rhein in der Bonner Innenstadt an einem sommerlichen Strahlungstag.

Hierbei wird die temperatenausgleichende Wirkung der Wasseroberfläche deutlich. Die Sandsteinplatte ist einer unbewachsenen Kiesoberfläche vergleichbar. Die Rasenoberfläche wird tagsüber nicht so stark erwärmt, da von der zur Verfügung stehenden Strahlungsbilanz Energie zur Verdunstung abgezweigt werden muss, was die Erwärmung im Vergleich zur unbewachsenen Oberfläche reduziert. Die geringe Tagesamplitude des Rheins ist auch durch die Turbulenz des Fließvorgangs zu erklären.

Das Oberrheintal weist an mehr als 230 Tagen im Jahr Inversionen auf. Die Durchlüftung im Rheintal wird als schlecht bezeichnet, vor allem im zentralen Teil und am Rhein selbst. Eine thermische Wirkung der geplanten Maßnahmen und eine Auswirkung auf die östlich der Hochwasserdämme angrenzenden Kulturlandschaften wird nicht errechnet.

4.3.7. Frostgefährdung

Aufgrund der hohen spezifischen Wärme von Wasser, im Vergleich zu umgebenden Böden mit agrarischer und forstlicher Nutzung, fällt eine Abkühlung über Hochwasser oder ökologischen Flutungen geringer aus gegenüber dem ungefluteten Zustand. Eine geringere Frostgefährdung in der näheren Umgebung des RHR Breisach/Burkheim ergibt sich nicht, wegen der damit verbundenen Luftruhe. Die Abkühlung bleibt auf den von Dämmen umgebenen RHR beschränkt. Somit bleibt eine flächenhafte Wirkung auf die Umgebung aus. Auch deshalb, da die dazu notwendigen Windstärken durch ihre turbulente Struktur und der damit verbundenen Einmischung wärmerer Luftmassen aus der Höhe ohnehin frostschtzend wirken.

BAUMGARTNER (1963) berichtet Untersuchungen über Temperaturänderungen in einer 2 m mächtigen, bodennahen Kaltluftschicht beim Überströmen verschieden breiter Wasserflächen. Dabei ergaben sich bei einer 100 m breiten Wasserfläche bei einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s Erwärmungen von 0,4 °C wenn die Luft 10 °C kälter als das Wasser war. Bei einem Grad wärmerem Wasser ergab sich nur eine Erwärmung von 0,05 °C. Nur bei großen Temperaturunterschieden zwischen Wasser und Luft, und nur bei Überströmungen von der Größenordnung eines Kilometers können fühlbare Schutzwirkungen eines Gewässers erwartet werden. Dies wäre bei der Maßnahme RHR Breisach/Burkheim denkbar, wenn Süd-Nord-Anströmung erfolgt. Diese ist aber ohnehin mit Westlagen verknüpft, die eine geringe Frostgefahr mit sich bringen. Fröste in Strahlungsnächten benötigen zu ihrer Ausbildung Luftruhe. Dies bedeutet, dass die Umgebungswirkung wärmerer Wasserflächen bei derartigen Wetterlagen eingeschränkt ist.

4.3.8. Die Luftfeuchtigkeit

Die gefluteten Rückhalteflächen können die Atmosphäre mit Wasserdampf anreichern. Es gibt bislang keine Kriterien, eine derartige Luftfeuchteerhöhung in ihrer lokalen Wirkung zu quantifizieren. Bei zyklonalen Wetterlagen ist dies aufgrund der dann vorherrschenden dynamischen Turbulenz zu vernachlässigen. Antizyklonale Wetterlagen können, da sie eine höhere Schwachwind- und Kalmenhäufigkeit haben, die bodennahe Luftschicht im Bereich des Rückhalteraums mit Wasserdampf anreichern. Die im Wasser stehenden Bäume bieten einen zusätzlichen Windschutz durch ihre turbulenz erzeugende erhöhte Rauigkeitslänge z_0 . Ist die bodennahe Luftschicht wasserdampfgesättigt, wird die weitere Verdunstung und damit Wasserdampfproduktion gehemmt, trotz der Auftriebstendenz feuchter Luft, die spezifisch leichter ist als trockene.

Schwache Luftbewegungen aus Westen können ein Antrieb für die gesättigte Luft sein, den RHR nach Osten in die Kirschplantagen und die Weinfelder zu verlassen. Beim Abstieg über die Begrenzungsdämme erhöht sich das Sättigungsdefizit und die damit verbundene Turbulenz mischt darüberliegende trockenere Luft in den Transportprozess ein. Beides verhindert eine Nebelbildung.

Denkbar wäre aber eine nebelbildende Wirkung des durch die Überflutungen entstehenden zusätzlichen Wasserdampfes direkt über der Wasseroberfläche. Der dabei entstehende sogenannte Seerauch (siehe Kap. 4.3.5.) ist auf die Überflutungsflächen be-

grenzt, gering mächtig und führt nicht zur größeren Nebelbänken oder einer großflächigen, auch über die Uferbereiche hinausgehenden Nebelbildung.

4.3.9. Änderung des Kleinklimas

Grundsätzlich bilden sich mikroklimatologische Unterschiede in unserer stark gegliederten mitteleuropäischen Kulturlandschaft nur bei antizyklonalen Wetterlagen aus. Bei zyklonalen Situationen, wenn die untere Atmosphäre dynamisch durchmischt wird, verwischen sich diese Unterschiede und verschwinden.

Die Änderungen des Mikroklimas im Bereich des RHR Breisach/Burkheim ergeben sich als Folge der Eingriffe in den Wärmehaushalt der betroffenen Oberflächen. Das Untersuchungsgebiet ist derzeit im Wesentlichen mit Wald bestockt und weist agrarische Nutzungen auf.

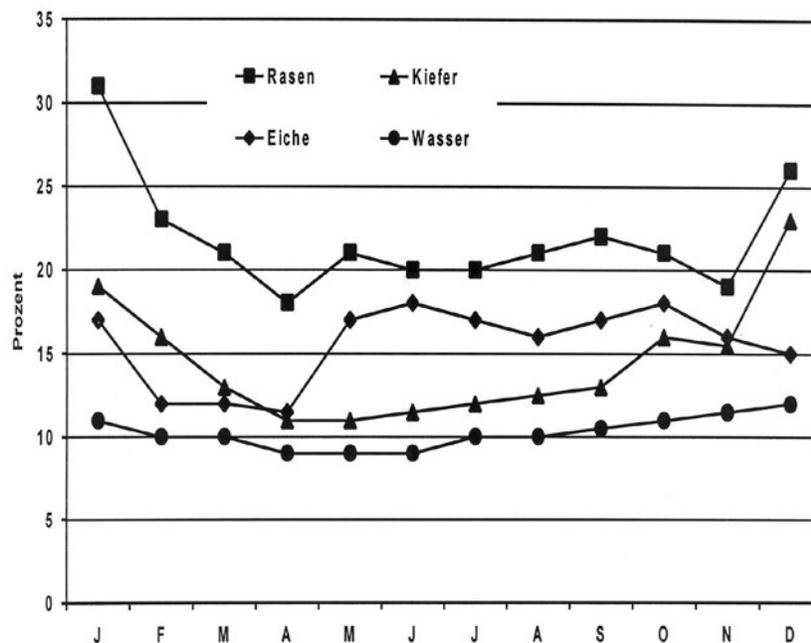


Abb. 35: Mittlerer Jahresgang der Albedo verschiedener Oberflächentypen in Mitteleuropa

Die einzige in Frage kommende Oberfläche, die durch ihre Strahlungseigenschaften eine Aufnahme solarer Energie erhöht, ist die Überflutungsfläche, durch ihre gegenüber den Laub-, Misch- und Nadelwäldern noch geringere Albedo. Der Überflutungsfall wird aber im geplanten Rückhalteraum immer nur kurzfristig eintreten und wird ohnehin durch die Baumkronen gedämpft. Alle übrigen, in Frage kommenden möglichen Oberflächen verfügen über höhere Albedowerte, wodurch eine geringere kurzweilige Energieaufnahme entsteht (siehe Abb.35 und Tabelle 2)

Tabelle 2: Mittlere stündliche Albedowerte verschiedener Oberflächen, ermittelt im Oberrheintal während des MESOKLIP-Experimentes im September 1978 (Mittel aus vierzehn Tagen)

	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	
Böbingen	25,4	19,4	16,1	15,1	16,3	16,0	16,4	16,7	16,7	16,6	17,2	23,6	34,7	.	Stoppelfeld
Hartheim	9,0	12,2	12,7	11,7	11,2	11,0	11,1	11,1	11,3	12,6	13,2	12,2	3,7	.	Kiefernwald
Edesheim	29,3	21,4	20,5	20,4	20,0	19,5	20,3	19,9	19,7	21,0	22,1	22,5	26,7	.	Rasen
Zeiskam	28,8	13,0	18,9	22,6	14,3	13,8	15,9	13,0	15,5	17,0	18,7	18,2	.	.	Stoppelfeld
Eschelbach	33,6	23,8	20,4	18,8	18,5	18,0	18,0	18,0	18,4	19,6	22,0	31,1	55,9	72,2	Weinberg
Eschelbach	25,7	17,5	14,6	13,4	13,1	13,2	13,2	13,5	14,3	15,0	16,8	23,0	47,9	76,8	Stoppelfeld
Eschelbach	38,4	26,8	22,9	20,4	19,1	18,4	18,2	18,8	19,9	21,1	24,6	29,3	52,1	84,9	Maisfeld

Die reduzierte Aufnahme solarer Strahlungsenergie führt zu einer geringeren Erwärmung der betrachteten Oberfläche und damit auch zu einer geringeren langwelligen Ausstrahlung. Dies bewirkt allerdings nicht, dass geringere kurzweilige Strahlungseinnahmen durch eine reduzierte langwellige Ausstrahlung in der Bilanz kompensiert werden (KESSLER, 1983).

Zu beachten ist, dass die einzige offene Wasserfläche der im RHR liegende Baggersee (Abb. 28) ist. Alle übrigen amphibischen Flächen sind überschirmt, sowohl bei ökologischen Flutungen als auch im Hochwasserfall.

Die Konsequenz aus der Tatsache, dass nur der Baggersee mit ca. 44 ha als offene Wasserfläche im RHR vorhanden ist und alle weiteren temporären Wasserflächen abgeschirmt sind (s.o.), reduziert die Eingriffe in den Wärmehaushalt in starkem Maße, so dass die Einflüsse zu vernachlässigen sind.

4.3.10. Die Verdunstung

Da es außer an der Forstmeteorologischen Messstelle Hartheim südlich des Untersuchungsgebietes keine Messungen und Berechnungen der aktuellen Verdunstung gibt, wird zunächst auf Erhebungen der potenziellen Verdunstung zurückgegriffen (DOMMERMUTH & TRAMPF, 1990).

Hier stehen Arbeiten des Deutschen Wetterdienstes zur Verfügung, die ausgehend von Gitterpunktwerten auf den Untersuchungsraum interpoliert werden können. Eine daraus mit Korrekturfaktoren bestimmte „aktuelle“ Verdunstung ist nicht notwendig. Abbildung 39 teilt für das Untersuchungsgebiet folgende Werte der potenziellen Verdunstung mit (in mm pro Jahr). Die potenzielle Verdunstung freier Wasserflächen wird zwischen Breisach und Burkheim mit 940 mm pro Jahr bestimmt.

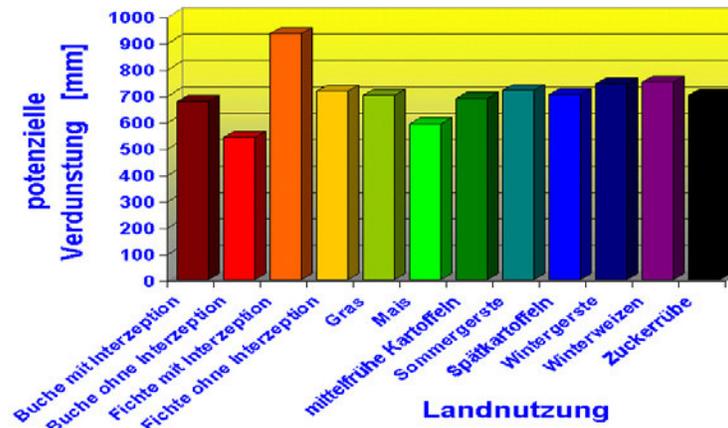


Abb. 36: Jahresmittelwerte der potenziellen Verdunstung [mm pro Jahr] für Buche mit Interzeption, ohne Interzeption, Fichte mit Interzeption, ohne Interzeption, Gras, Mais, mittelfrühe Kartoffeln, Sommergerste, Spätkartoffeln, Wintergerste, Winterweizen und Zuckerrüben im Untersuchungsgebiet.

Gegenüber der gegenwärtigen Flächennutzung wird sich die Verdunstungsleistung des geplanten Rückhalteriums im gefluteten Zustand um ca. 1 mm pro Tag erhöhen. Dieser Wert kann gleich der aktuellen Verdunstung gesetzt werden, da Wasserflächen definitionsgemäß potenziell verdunsten. Mit zunehmender Weglänge des Windes über den Wasserflächen und mit zunehmender Wasserflächengröße nimmt die Verdunstungshöhe ab (Oaseneffekt). Bei kleinen Wasserflächen dagegen und bei Buchtenreichtum kann die nach windstillen Situationen wasserdampfgesättigte Luft durch ufernahe trockenere Luft verdrängt werden.

Verdunstungsuntersuchungen an Baggerseen sind in Deutschland auch heute noch dünn gesät. Eine Untersuchung im Trockenjahr 1959 in Westfalen ergab im Sommerhalbjahr Tagesmittel der Verdunstung von 3,25 mm (BROCKKAMP & WENNER, 1963). Ähnliche Werte ergaben Verdunstungsbestimmungen über einem Kiefernwald im Untersuchungsgebiet im Mai 1992 (JAEGER, 1998), wohlgermerkt, über einer Vegetationsdecke.

Wie oben schon ausgeführt, wird davon ausgegangen, dass im Untersuchungsgebiet die aktuelle Verdunstung in Höhe der Jahressumme des Niederschlags liegt, d.h. bei ca. 600 mm. Die Verdunstungseffektivität (der Quotient zwischen Verdunstung und Niederschlag) liegt dann bei 1.0. Bei offenen Wasserflächen und geflutetem Rückhalterium steigt der Quotient über 1.0 an. Diesbezügliche Werte geben HENNING (1967) für den Laacher See mit 0.97 an, MAHRINGER (1970) mit 1.68 für den Neusiedler See und KLAUSING UND SALAY (1976) für ein Wasserbassin an der Bergstraße mit 1.11.

Die Untersuchungen im Hartheimer Kiefernwald südlich des Untersuchungsgebietes werden zu folgenden Aussagen herangezogen: Die aktuelle Evapotranspiration (Summe aus Evaporation und Transpiration) ändert sich im RHR durch die Baumaßnahmen nicht. Die derzeitige Bestockung erlaubt keine Sickerwasserbildung (SCHÄFER, 1977). Dies wird auf den RHR Breisach/Burkheim übertragen, da Temperaturverhältnisse und Niederschlagsgeschehen identisch sind. Das gesamte Niederschlagswasser wird in der Deckschicht und im Bestand umgesetzt, dies auch wegen der Interzeption von Auwäldern. Es findet keine Bodenvernässung der östlich des RHR gelegenen landwirtschaftlichen Kulturflächen durch lateral unter den Dämmen transportiertes Sickerwasser statt. Auch trägt die Polderfeuchte weder zu einer Blatt- noch einer Bodenvernässung bei.

Zusammenfassend wird gesagt, wenn durch den RHR keine Möglichkeit zur Versickerung von Niederschlagswasser entsteht, verringert sich die aktuelle Evapotranspiration nicht. Der zur Verdunstung verbrauchte Energiebetrag ist im Untersuchungsgebiet bis zu viermal höher als der zur Erwärmung der bodennahen Luft. Entzieht man dem Wärmehaushalt des Untersuchungsgebietes durch Versickerung verdunstungsverfügbares Wasser, so kommt dies dem Strom fühlbarer Wärme zu Gute, d.h., einer gegenüber dem aktuellen Zustand stärkeren Erwärmung der Luft

5. Zusammenfassung

Das Untersuchungsgebiet liegt in der Klimazone der gemäßigten Breiten Mitteleuropas und kann, beeinflusst durch die Orographie, als (thermisch) begünstigt angesehen werden. Dies drückt sich auch in einer winterlichen Schneedeckenarmut aus.

Hinsichtlich der Wärmeverhältnisse stellt das Oberrheinische Tiefland die einheitlichste Großlandschaft Südwestdeutschlands dar, mit Jahresmitteltemperaturen um 10° C in Rheinnähe. Im Juli übersteigen die Lufttemperaturen im Untersuchungsgebiet die 18° C Marke. Im Januar liegt das mittlere Temperaturniveau um 1°C. Der Untersuchungsraum bleibt an ca. 200 Tagen im Jahr im langjährigen Mittel frostfrei.

Der Untersuchungsraum wird als niederschlagsarm angesehen. Im Jahresmittel liegt der gemessene, fallende Niederschlag bei ca. 600 mm mit abfallender Tendenz in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts, wobei die Vegetationsperiode 400 – 450 mm Niederschlagsspende erhält. Der prozentuale Anteil des Schnees am Gesamtniederschlag ist gering, wodurch es im Mittel in den Wintermonaten zu etwa 20 Tagen mit Schneedecke kommt.

Was die Windverhältnisse anlangt, so ist im Untersuchungsgebiet eine Kanalisierung des Windes mit Windrichtungen in der Streichrichtung des Oberrheingrabens zu beobachten. Dabei entstehen auch Mitführeffekte des Rheins und des Rheinseitenkanals in deren unmittelbarer Umgebung.

Der mittlere Bedeckungsgrad an Bewölkung liegt zwischen 62 und 65%. Somit ergeben sich 130 bis 140 heitere Tage, trübe Tage dagegen 90 bis 100; 120 – 130 Tage weisen wechselnde Bedeckung auf.

Im Untersuchungsgebiet wären, bezogen auf die Strahlungsbilanz als Energielieferant für die Verdunstung, mindestens 800 mm Niederschlag notwendig, um den Wasserbedarf der vorkommenden Landnutzungsformen zu decken. Somit wird der auftretende Niederschlag vollständig für die Verdunstung verbraucht und steht nicht zur Grundwasserneubildung zur Verfügung.

Hierbei handelt es sich um eine Bilanzbetrachtung, bei der langjährige Mittelwerte der Niederschlagssummen den langjährigen Mittelwerten der Verdunstungssummen gegenübergestellt werden. In Einzelfällen, in denen längere Regenperioden zu einer Sättigung des Oberbodens führen, wird durchaus eine Sickerung zum Grundwasserkörper und somit ein Grundwasserneubildung beobachtet. Dies wird durch Lysimetermessungen gestützt.

Die Abschätzung möglicher Auswirkungen der Flutungen auf der Grundlage einer Beobachtung des gegenwärtigen Zustands wird deshalb als sinnvoll erachtet, weil die Hochwasserschutzdämme bereits existieren und deshalb die Beschreibung eines Kalt-

Luftsammelbeckens ohne nennenswerte Ausbreitung von Nebel auf die Umgebung auf einen Ist-Zustand bezogen ist, der sich - abgesehen von der Vergrößerung der Wassermenge im Gebiet - durch den Betrieb des Rückhalteraaumes nicht ändert.

Die angewandte Untersuchungsmethodik wurde durch das Urteil des VG Freiburg vom 31.07.2010 zum Rückhalteraum Elzmündung (Urteil VG Freiburg v. 31.07.2010 - 2 K 192/08 wg. PFB Rückhalteraum Elzmündung, Seiten 217f.) anerkannt.

Nach Einrichtung des RHRs ist folgendes Fazit zu ziehen:

Eine großklimatische und damit eingebettet, mikroklimatische Wirkung der geplanten Baumaßnahme ergibt sich nicht.

Da der Betrieb des Rückhalteraaumes in der Summe zu allen bisher erfolgten Kulturbau- maßnahmen am Rhein hinzugefügt werden muss, stellt er prinzipiell einen Faktor in der anthropogenen Beeinflussung des Meso- und Mikroklimas unseres Raumes dar.

Die geplante Baumaßnahme wird nach ihrem Abschluss und der Pflege des vorhandenen Waldökosystems keine Änderung des Windfeldes hervorrufen.

Bei zyklonalen Wetterlagen bilden sich, aufgrund der dann vorherrschenden dynamischen Turbulenz dieser Witterungssituationen, keine Auswirkungen auf die kleinklimatischen Verhältnisse innerhalb und außerhalb des geplanten Rückhalteraaumes aus.

Bei antizyklonalen Wetterlagen mit nur geringer horizontaler Luftbewegung können sich die angesprochenen Kleinklimate (erhöhte Luftfeuchte, Verdunstung und Nebelbildung) nur bei bestimmten austauscharmen Verhältnissen ausbilden. Die Austauscharmut führt dazu, dass keine „Polderfeuchte“ aus den Überflutungsflächen auf die umliegenden Flächen transportiert werden kann; der über dem gefluteten Rückhalteraum kondensierte Wasserdampf bleibt über seinem Entstehungsgebiet „gefangen“. Diese lokalen Nebelfelder, verursacht durch Verdunstung am Tage mit nächtlicher Kondensation des nicht abtransportierten Wasserdampfs, lösen sich bei Tagesanbruch wieder auf. Eine mikroklimatologische Beeinflussung der Umgebung infolge der Flutungen im Rückhalteraum, ist deshalb auszuschließen.

Bei großräumigen winterlichen Wetterlagen mit z.T. langlebigen Nebel im zentralen Oberrheintal ist die Einstrahlung durch den niedrigen Sonnenstand und die abschirmende Wirkung des Nebels reduziert, so dass nur eine geringe Strahlungsbilanz über den Wasserflächen übrig bleibt. Aufgrund dieses geringen Strahlungsbilanzangebotes ist es nicht möglich, dass nennenswerte Wassermengen verdunsten. Bei Nebel beträgt die Luftfeuchtigkeit 100%. Verdunstung benötigt einen Wasserdampfgradienten in der Luft, der von der Wasseroberfläche in die darüber gelegene Luft gerichtet ist. Bei 100% Luftfeuchte baut sich kein Gradient auf. Dies hemmt die Verdunstung zusätzlich und wirkt nicht nebelverstärkend.

Aus den genannten Gründen ist der Beitrag der Überflutungen zu einer Wasserdampf- anreicherung der Luft bei solchen Nebelsituationen zu vernachlässigen und bildet auch kein Potential zu zusätzlicher Nebelbildung, abgesehen von den eng begrenzten Bereichen der Überflutungen selbst, ohne Auswirkung auf die Kulturlandschaft im Osten. Auch eine Triggerung, d.h., Auslösung der Nebelentstehung über den Wasserflächen

bei zunächst klarer Luft ist, aufgrund der begrenzten Flächenausdehnung der Überflutungsflächen (maximal 634 Hektar) und des daraus resultierenden geringen Wasserdampfangebotes, nicht möglich.

Weiterhin ist eine thermische Wirkung durch den Betrieb des RHR nicht zu erwarten. Fröste in sternklaren, wolkenlosen Nächten (Strahlungsnächte) benötigen zu ihrer Ausbildung Luftruhe. Fließende Kaltluftmassen in den gefluteten Rückhalteraum ein, erwärmt sich die Luft, da der Wasserkörper wärmer ist, als die kaltluftproduzierenden Quellen auf den umgebenden landwirtschaftlichen Nutzflächen. Die zeitweise vorhandenen Wasserflächen bei Betrieb des Rückhalterumes dämpfen somit in deren näherer Umgebung die Amplituden der Lufttemperatur, d.h. die Minimaltemperaturen fallen weniger extrem aus.

Aufgrund der genannten Zusammenhänge kann durch den Betrieb des Rückhalterumes eine Frostgefährdung des Wein- und Obstbaus in der angrenzenden Niederung bzw. im Kaiserstuhl nicht eintreten, weder im Normalbetrieb noch bei ökologischen Flutungen.

Was die Verdunstung angeht, so ist festzuhalten, dass im Untersuchungsgebiet (bezogen auf die langjährigen Mittelwerte) der gesamte Jahresniederschlag verdunstet. Es findet keine Versickerung statt. Die Grundwasseranbindung des Auwaldes hebt die Verdunstung allerdings in den Sommermonaten in Richtung potenzieller Verdunstung an.

Folgende Einzelpunkte seien zusätzlich zusammengefasst:

Im Sommer kommt es zu einer leichten Verringerung des bioklimatologischen Hitzestresses, allerdings nur im und in der unmittelbaren Umgebung des geplanten Rückhalterums. Agrarmeteorologische Auswirkungen sind aufgrund der geringen Breite des Rückhalterums vernachlässigbar. Das agrarmeteorologische Wuchsklima wird durch die Maßnahme nicht berührt.

Weder durch die bereits bestehenden Wasseroberflächen des Rheins und des Burkheimer Baggersees noch durch den gefluteten Rückhalteraum ist eine Labilisierung der bodennahen Luft, die für eine Gewitterbildung notwendig wäre, möglich. Eine vorhabensbedingte Häufung der Gewitterereignisse ist absolut auszuschließen.

Die Windverhältnisse nahe der Erdoberfläche werden durch die abgeschlossene Baumaßnahme und des Betriebes des RHRs nicht verändert, da der Auwald sich in seinen Windprofilparametern von der derzeitigen Landnutzung nicht unterscheidet.

Freiburg, den 19. Dezember 2017



Prof. Dr. Lutz Jaeger
Colombistr. 11
79098 Freiburg

6. LITERATURVERZEICHNIS

- ADRIAN, G. & FIEDLER, F., 1991: Simulation of unstationary wind and temperature fields over complex terrain and comparison with observations. Beitr. Phys. Atmosph., 64, 27 – 48.
- AHRENS, D., KRAMMER, A., SCHWEINFURTH, G. & MARUSIC, D., 1998: Immissionskarten, Gemessene Konzentrationsverteilung von Luftverunreinigungen. REKLIP. Arbeitsgruppe „Luftqualität“.
- ARBEITSGRUPPE LUFTREINHALTUNG DER UNIVERSITÄT STUTTGART, 1997: Luftreinhaltung in Baden-Württemberg, das Treibhausgas CO₂ – Wirkung und Minderung -. Jahresbericht 1996/1997.
- BAUER, F. W., 1951: Die Überführung der badischen Auewäldungen in Hochwald. Verlag Landesforstverwaltung, Freiburg.
- BAUMGARTNER, A., 1963: Einfluss des Geländes auf Lagerung und Bewegung der nächtlichen Kaltluft. In: SCHNELLE, F. (Hrsg.): Frostschutz im Pflanzenbau. Band 1, BLV Verlagsgesellschaft München, Basel, Wien, S. 151 – 194.
- BENESCH, W., DUENSING, G., JURKSCH, G. & ZOELLNER, R., 1978: Die Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland im Hinblick auf die Nutzung der Windkraft. Ber. Dt. Wetterd., Nr. 147, Offenbach, 26 S.
- BROCKKAMP, B. & WENNER, H., 1963: Verdunstungsmessungen auf dem Steiner See bei Münster in Westf., DGM 7, H. 6, 149 – 154.
- DABROWSKI, C., 2002: Auswirkungen von Durchforstungen auf den Wasserhaushalt eines Kiefernwaldes. Dipl. Arb. Inst. f. Hydrologie, Univ. Freiburg, 95 S.
- DARMER, G. & BAUER, J., 1969: Landschaft und Tagebau. Neue Landschaft, H. 11, S. 519 – 531, H. 12, S. 569 – 582.
- DEUTSCHER WETTERDIENST, 1953: Klimaatlas von Baden-Württemberg, 37 S., 75 Karten & 9 Diagramme.
- DEUTSCHER WETTERDIENST, 1978: Das Klima der Bundesrepublik Deutschland, Lieferung 1: Niederschlag, Offenbach, 70 S. & Karten.
- DEUTSCHER WETTERDIENST, 1982: Das Klima der Bundesrepublik Deutschland, Lieferung 3, Lufttemperatur, Offenbach, 24 S. & Karten.
- DEUTSCHER WETTERDIENST, 1992: Das Klima der Bundesrepublik Deutschland, Lieferung 4, Mittlere Nebelhäufigkeit & Nebelstruktur, Offenbach, 30 S. & Karten.
- DOMMERMUTH, H. & W. TRAMPF, 1990 – 1992: Die Verdunstung in der Bundesrepublik Deutschland, Zeitraum 1951 – 1980, 8 S. & 11 Karten, Teil III, 1992, 10 S. & 13 Karten, Offenbach.
- EIMERN, VAN J. & HÄCKEL, H., 1984: Wetter- und Klimakunde. Ein Lehrbuch der Agrarmeteorologie. Ulmer, Stuttgart.
- ELLENBERG, H., 1996: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökonomischer, dynamischer und historischer Sicht. Ulmer, Stuttgart, 1096 S.
- FIEDLER, F., [Hrsg.], 1995: Klimaatlas Oberrhein Mitte-Süd. Atlas Climatique du Fossé Rhénan Méridional. REKLIP, Regio-Klima-Projekt. Zweisprachiger Atlas und Textband. Vdf Hochschulverlag, Zürich.
- GALLUSSER, W. & A. SCHENKER, 1992: Die Auen am Oberrhein. Les zones alluviales du Rhin supérieur. Birkhäuser, Basel, Boston, Berlin.
- GEIGER, R., 1961: Das Klima der bodennahen Luftschicht. Vieweg, Braunschweig.

- GERTH, W. - P., 1986: Klimatische Wechselbeziehungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen. Ber. Dt. Wetterd., Nr. 171, 69 S. & 16 Karten.
- GERTH, W. - P., 1993: Klimauntersuchung für das Bundesland Baden-Württemberg. Deutscher Wetterdienst, Offenbach, 34 S.
- GEWÄSSERDIREKTION SÜDLICHER OBERRHEIN/HOCHRHEIN, 1998: Rückhalte-
raum südlich des Kulturwehres Breisach, Tieferlegung des 90-Meter-Streifens.
Entwurf des voraussichtlichen Untersuchungsrahmens zum Raumordnungsver-
fahren (Scoping).
- HÄCKEL, H., 1985: Meteorologie. UTB, Ulmer, Stuttgart.
- HÄCKEL, H., 1999: Farbatlas Wetterphänomene. Ulmer, Stuttgart, 336 S
- HENDL, M., 1995: Klima, in: LIEDTKE, H. & J. MARCINEK, (Hrsg.): Physische Geogra-
phie Deutschlands. Klett - Perthes, Gotha, 559 S.
- HENNING, D., 1967: Periodische und aperiodische Wasserstands-Schwankungen des
Laacher Sees. Erdkunde 21, 203 – 212.
- HUPFER, P. & KUTTLER, W. (Hrsg.) 2006: Witterung und Klima. Teubner, Wiesbaden,
554 S.
- HUFTY, A. 2001: Introduction à la climatologie. Université Laval, Québec, 542 S.
- JAEGER, L., 1978: Die klimatologische Messstation Hartheim des Meteorologischen
Instituts der Universität Freiburg. Ber. Naturf. Ges. Freiburg, 68, 47 – 73. Frei-
burg.
- JAEGER, L. & KESSLER, A., 1980: Langzeitmessungen der Strahlungsbilanz und ihrer
Komponenten über einem Kiefernbestand der südlichen Oberrheinebene. All.
Forst- u. Jagd-Ztg., 151, 210 – 217.
- JAEGER, L., 1984: Zehn Jahre Niederschlagsmessungen über einem Kiefernbestand
im angehenden Stangenholzalder. Wetter und Leben, 36, 149 – 158.
- JAEGER, L., 1985a: Estimation 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. & HICKS, B.B. (eds.): The Forest-Atmosphere In-
teraction, Reidel, Dordrecht, S. 71 – 90.
- JAEGER, L., 1985b: Klimatologische Aussagen im Rahmen der Umweltverträglichkeits-
prüfung zu Hochwasserschutzmaßnahmen im Raum Breisach. Unveröff. Gutach-
ten, Freiburg.
- JAEGER, L., 1993: Klimatologie des Wärmehaushalts eines Kiefernwaldes in der südli-
chen Oberrheinebene. Habilitationsschrift, Geowiss. Fak. Univ. Freiburg, 149 S.
& Anh.
- KLAUSING, O. & SALAY, G., 1976: Die Messung des Wasserumsatzes im Felde. Teil
1, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 20, 1 – 7.
- KESSLER, A., 1971: Über den Tagesgang von Oberflächentemperaturen in der Bonner
Innenstadt an einem sommerlichen Strahlungstag. Erdkunde, 25, S. 13 – 20.
- KESSLER, A., 1983: Die Beeinflussung des Wärmehaushaltes durch Veränderungen
der Bodennutzung. Veröff. Regionalverb. Südl. Oberrh., Nr. 11, 29 – 33.
- KESSLER, A., 1985a: Heat Balance Climatology. World Survey of Climatology, Vol. 1A,
Elsevier, Amsterdam, New York, London, Tokyo.
- KESSLER, A., 1985b: Über die kurzweilige Albedo eines Kiefernwaldes. Eine klimato-
logische Langzeitstudie. Meteorol. Rdsch., 38, 82 – 91.
- KESSLER, A. & JAEGER, L., 1993: Die mittleren Tages- und Jahresgänge der Strah-
lungsbilanz und ihrer Komponenten über einem südwestdeutschen Kiefernwald.
Erdkunde, Archiv f. Wiss. Geogr., 44, S. 14 – 44.

- KING, E., 1973: Untersuchungen über kleinräumige Änderungen des Kaltluftflusses und der Frostgefährdung durch Straßenbauten. Ber. Dt. Wetterd., Nr. 130, Offenbach, 24 S.
- KREUZWIESER, J., E. PAPADOPOULOU & H. RENNENBERG, 2004: Interaction of flooding with carbon metabolism of forest trees. *Plant Biology*, 6, 299 – 306.
- KUTTLER, W. [Hrsg.], 1995: Handbuch zur Ökologie. Analytika Verlagsgesellschaft Berlin, 525 S.
- KONFERENZ OBERRHEINISCHER REGIONALPLANER, 1979: Oberrheingraben, le couloir Rhéna. Planung über die Grenzen, l'aménagement par delà les frontières. Europa Union Verlag Bonn.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ, 1977: Wasserwirtschaftliche Untersuchungen an Baggerseen. 2. Bericht, Karlsruhe, 165 S.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ, 1986: Folgenutzung und Rekultivierung von Baggerseen dargestellt an Beispielen aus dem Ortenaukreis. Untersuchungen zur Landschaftsplanung. Karlsruhe, 106 S.
- LANDESFORSTVERWALTUNG BADEN-WÜRTTEMBERG, 1970: Denkschrift zur Situation der Landschaft im südlichen Oberrheingebiet, 128 S., Tabellen und Karten.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, INSTITUT FÜR ÖKOLOGIE UND NATURSCHUTZ (LfU-IÖN), 1981: Rheinstaufstufe Neuburgweier, Landschaftspflegerische Begleitplanung.
- LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ, 1995: Solar- und Windenergieatlas Baden-Württemberg, Karlsruhe, 71 S.
- MAHRINGER, W., 1970: Verdunstungsstudien am Neusiedler See. *Archiv Meteorol. Geoph. Biokl.*, Ser. B, S. 1 – 20.
- MONTEITH, J. L., 1978: Grundzüge der Umweltphysik, Steinkopf, Darmstadt, 183 S.
- MÜLLER-WESTERMEIER, P., 1990: Klimadaten der Bundesrepublik Deutschland, Zeitraum 1951 – 1980, 22 S., 289 Tabellen & 1 Karte.
- PARRY, M. L. [Hrsg.] (2000): Assessment of potential effects and adaptations for climate change in Europe: The Europe ACACIA Project. Jackson Environment Institute, University of East Anglia, Norwich, UK
- PAUL, P. & WAHL, L., 1993: L'influence du type de circulation sur l'extension des brouillards du fossé Rhéna à partir de données satellitaires. *Publ. Ass. Intern. Climatol.*, 6, 569 – 577.
- RUDLOFF, H. v., 1952: Die klimatischen Verhältnisse am Oberrhein. Denkschrift: Land- und Forstwirtschaft am Oberrhein unter dem Einfluss der Grundwasserabsenkung.
- RUDLOFF, H. v., 1978: Nebel- und Hochnebelsituationen im südlichen Oberrheingebiet. *Fachl. Mitt. Amt f. Geophys.*, Nr. 187, 185 – 195.
- SCHÄFER, G., 1977: Nährelementhaushalt von Kiefernjungbeständen in der südlichen Oberrheinebene. *Freiburger Bodenkundl. Abh.*, H7, 153 S.
- SCHIMARSKI, W. [Hrsg.], 1983: Auswirkung von Kühltürmen: Grundlage f. d. Beurteilung d. meteorolog. Auswirkungen von Naturzug-Naßkühltürmen großer Leistung. Umweltbundesamt Berlin, 89 S.
- SCHÖNWIESE, CH. & TRÖMMEL, S., 2005: Langzeitänderungen des Niederschlags in Deutschland. Warnsignal Klima: genug Wasser für alle? GEO, Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, 182 – 187.

- SCHOTT, R., 1980: Untersuchungen über die Energiehaushaltskomponenten in der atmosphärischen Grenzschicht am Beispiel eines Kiefernbestandes in der Ober-reinebene. Ber. Dt. Wetterd., 153, 58 S.
- SCHULZE, R., 1970: Strahlenklima der Erde. Steinkopf, Darmstadt, 217 S.
- TASCHENBUCH DER WASSERWIRTSCHAFT, 1982:, 6. Auflage, Hamburg, Berlin, 1005 S.
- TE CHOW, V., 1964: Handbook of applied hydrology. McGraw-Hill, New York, San Francisco, Toronto, London.
- TRENKLE, W., 1980: Das Klima. In: SCHILLING, K. [Hrsg.]: Breisgau – Hochschwarzwald. Freiburg.
- TSCHIERSCH, J., 1988: Untersuchung der atmosphärischen Ausbreitung durch Immissionsmessungen von Xenon-133 am Kernkraftwerk Fessenheim. Diss. Inst. f. Umweltphysik, Heidelberg, 138 S.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE, 1983: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, Blatt 1: Betriebstechnische und wirtschaftliche Grundlagen. VDI Richtlinie Nr. 2067 – Düsseldorf (VDI-Verlag).
- VOGEL, D., 1967: Wald und Kiesindustrie – dargestellt an den Verhältnissen im Forstbezirk Breisach. Allg. Forst- und Jagd-Ztg., 138, S. 89 – 96.
- WACKER, M., 1998: City-Logistik Stuttgart – Umweltwirkungen. Arbeitsgruppe Luftreinhaltung der Universität Stuttgart, Jahresbericht 1996/1997, S. 46 – 53.
- WAGNER, P. & AHRENS, D., 1991: REKLIP - Jahresbericht 1991 der deutschen Teilnehmer, Karlsruhe.
- WAHL, L., 1997: Etude de la dynamique spatio-temporelle des brouillards de rayonnement au sein du Fossé Rhénan méridional à l'aide d'images NOAA-AVHRR. Thèse de Doctorat, Strasbourg, 251 S.
- WEISSHAAR, U., 1997: Simulation des bodennahen Windfeldes über hügeligem Gelände für die Windenergienutzung. Dipl. Arb. Meteorol. Inst. Univ. Karlsruhe, 104 S.
- WOHLRAB, B. & SOKOLLEK, V., 1977: Der Einfluss großflächiger Auskiesung auf Wasserhaushalt, Vegetation und Klima. Bericht, Inst. f. Landeskultur, Univ. Gießen. 61 S.
- WWF-AUEN-INSTITUT et. al., 1989: Umweltverträglichkeitsprüfung von Hochwasserschutzmaßnahmen im Raum Breisach. Rastatt, Bonn, Freiburg, 235 S.