

Regionalklimatische Kennzeichen der Baar - eine aktuelle Bestandsaufnahme

Von Alexander Siegmund

1. Einleitung

Die Baar wird durch kaum einen anderen Faktor so nachhaltig geprägt, wie durch ihre besonderen regionalklimatischen Gegebenheiten. Ihr Einfluss reicht dabei über die rein naturräumlichen Aspekte hinaus, werden doch auch klassische Bereiche des Kulturräumlichen wie etwa die Landwirtschaft in starkem Maße von diesen klimatischen Charakteristika beeinflusst. So ist die Region durch eine ausgeprägte Frosthäufigkeit gekennzeichnet, sie zählt bei austauscharmen Strahlungswetterlagen oft mit zu den Kältepolen Deutschlands. Durch die Lee-lage zum Schwarzwald stellt sich auf der Baar darüber hinaus eine im Vergleich zu ihren Nachbarregionen relative Niederschlagsarmut und typische jahreszeitliche Niederschlagsverteilung ein.

Die nachfolgenden Ausführungen gehen den Kennzeichen und Ursachen dieser ausgeprägten thermischen und hygrischen Kontinentalität auf der Grundlage aktueller regionalklimatischer Studien genauer nach. Hierzu werden zunächst die wichtigsten klimarelevanten naturräumlichen Gegebenheiten der Region erörtert, die für das Verständnis der verschiedenen Phänomene von Bedeutung sind. Die sich anschließenden Klimaanalysen basieren im wesentlichen auf den Daten eines dichten regionalen Messnetzes. Es ist Teil eines umfangreichen Umwelt- und Klimaforschungsprojektes der Universität Mannheim in der Region, in dem verschiedene naturräumliche Aspekte genauer erfasst und im Sinne einer Systemanalyse untersucht werden sollen. In diesem Zusammenhang kommt dem Entwurf großmaßstäbiger regionaler Klimakarten nicht zuletzt für den Aufbau eines Geographischen Informationssystems (GIS) für die Baar eine wichtige Bedeutung zu. Der strukturelle Aufbau der entsprechenden Klimamodelle und einige der daraus abgeleiteten Klimakarten werden näher erläutert.

2. Klimarelevante naturräumliche Gegebenheiten

Die geologisch-morphologischen Gegebenheiten prägen wesentlich die topographischen Verhältnisse des Untersuchungsraumes. In dem dreidimensionalen digitalen Geländemodell der Baar in Abb. 1 wird dies sehr deutlich. Daraus gehen sehr eindrücklich die topographischen Gegebenheiten des Untersuchungsraums in Form einer Hochmulde hervor, der für die charakteristischen klimatischen Besonderheiten der Region eine wichtige Bedeutung zukommt.

Dreidimensionales digitales
Geländemodell der Baar

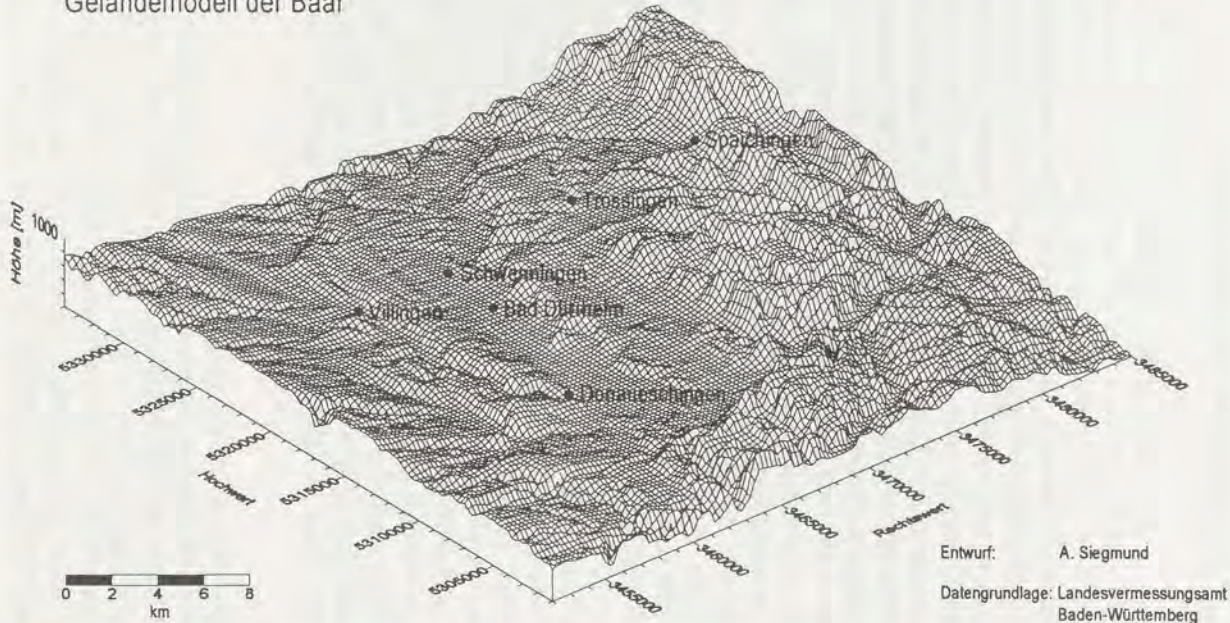


Abb. 1: Dreidimensionales digitales Geländemodell des Untersuchungsgebiets
(Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Digitales Höhenmodell (DHM) des Landesvermessungsamts Baden-Württemberg)

Von den Ausläufern der östlichen Schwarzwaldabdachung im Westen mit 850-900 m Höhe fällt das Relief nach Osten relativ gleichmäßig und sanft um rund 200 m bis zu den tiefsten Regionen der Baar, die mit ca. 670 m im Bereich der Riedbaar zwischen Donaueschingen, Pföhren, Neudingen und Hüfingen liegen, ab.

Nach Süden und Osten hebt sich ein markanter Anstieg des Geländes hervor. Die Höhen steigen von der Riedbaarsenke bis zur Dogger-Schichtstufe zunächst nur allmählich an. Erst der Dogger- und Malm-Trauf hat einen markanten Höhenanstieg zur Folge, der sich zwischen den Niederungen der Baar und der Malm-Hochfläche auf 300-400 m beläuft. Im Nordosten des Untersuchungsgebiets werden auf diese Weise Höhen von bis zu 1.000 m erreicht. Das Relief zeigt dabei insbesondere im Bereich des Doggers und Malms einen sehr unruhigen Charakter, der durch zahlreiche Flusstäler, wie etwa der Donau und ihrer zahlreichen Zuflüsse, hervorgerufen wird (vgl. Abb. 1).

Auch nach Norden steigt das Gelände von den Niederungen der Baarhochmulde allmählich an. So beträgt die Höhendifferenz zwischen den tiefsten Bereichen der Riedbaar und den Regionen am nördlichen Rand des Untersuchungsgebiets rund 130 m (vgl. Abb. 1). Das Gelände ist dabei sehr flach und wenig reliefiert. Nur ganz im Norden des Untersuchungsgebiets macht sich der Einflussbereich der rheinischen Errosionsbasis in einigen markanteren Taleinschnitten, wie des Eschach-, Fischbach- und Neckartales bemerkbar. Auf diese Weise bildet nur das Donautal für die tiefer gelegenen Bereiche der Baarhochmulde einen natürlichen Abfluss. Die mittlere Höhe des Untersuchungsgebiets beträgt 746,4 m und verdeutlicht die vergleichsweise große Höhenlage der Region. Die Spanne der Werte des digitalen Höhenmodells reicht dabei von 513 m im äußersten Südosten des dargestellten Raumes, der die Ausläufer des Hegaus kennzeichnet, bis zu 1.001 m im Bereich der Hohen (Schwaben)-Alb im Nordosten.

Aufgrund der Muldenform und der besonderen geologischen Gegebenheiten ist die Baar durch eine vergleichsweise große Gewässerdichte gekennzeichnet. Das dichte Gewässernetz geht mit einer relativ großen Anzahl an Mooren einher. Sie treten in einigen Bereichen der Hochmulde so gehäuft auf wie in wenigen anderen Gebieten Deutschlands (BANSE 1984, S. 17, REICHEL 1972, S. 13). Insgesamt lassen sich in der Region weit über 10 eigenständige Mooregebiete ausmachen. Obwohl inzwischen eine Vielzahl der Moore auf der Baar zum Teil verschüttet und abgetorft wurden, kommt ihnen neben der großen Gewässerdichte aus regionalklimatologischer Sicht eine wichtige Bedeutung zu. Das damit verbundene große Feuchtigkeitsangebot fördert die Verdunstung. Durch die dabei benötigte Verdunstungsenergie geht ein Teil der fühlbaren Wärme in latente Wärme über und hat damit eine Abkühlung der bodennahen Luftschicht-

ten zur Folge. Dieser Effekt trägt mit zur starken Frostgefährdung der tiefer gelegenen Regionen der Baarhochmulde bei. In trockengelegten Mooren ist die Frosthäufigkeit dabei oft genau so hoch, mitunter sogar noch höher als in naturnahen - eine Folge der zumeist geringen Wärmeleitfähigkeit der Moorböden, durch die eine starke nächtliche Abkühlung der Erdoberfläche eintritt. Der durch die Verdunstung bedingte höhere Feuchtigkeitsgehalt der Luft unterstützt eine Labilisierung der unteren Atmosphärenschichten. Dies kann vor allem im Sommer eine verstärkte Konvektion und Wolkenbildung zur Folge haben, die mitunter zu einer größeren Niederschlagstätigkeit beiträgt. Im Winter fördert die hohe Luftfeuchtigkeit die Nebelbildung.

Neben den topographischen und hydrographischen Gegebenheiten kommt der Vegetationsbedeckung und Landnutzung für regionalklimatische Fragestellungen eine wesentliche Bedeutung zu. Wälder, Wiesen, Äcker, Gewässer oder Siedlungsflächen weisen aufgrund ihrer differenzierten physikalischen Eigenschaften zum Teil erhebliche mikroklimatische Unterschiede auf. So ist etwa das Klima in Wäldern sowohl tages- als auch jahreszeitlich deutlich ausgeglichener als in offenem Gelände. Bebaute Bereiche zeigen u.a. durch die zumeist höhere Wärmeleitfähigkeit und höhere spezifische Wärme (Wärmekapazität) der verwendeten Baustoffe ein im Vergleich zum Umland verändertes thermisches Verhalten mit durchschnittlich höheren Temperaturen. Hinzu kommen kleinräumige Veränderungen der Albedo und damit der Strahlungsbilanz, die in starkem Maße von der Landnutzung und verschiedenen Vegetationsarten abhängig sind. Auf diese Weise entsteht ein kleinräumiges Mosaik unterschiedlicher mikroklimatischer Gegebenheiten, die eng mit dem mesoklimatischen Gelände- und Regionalklima eines Raumes verzahnt sind.

Die Abb. 2 zeigt das Ergebnis einer sogenannten überwachten Landnutzungsklassifikation für das Untersuchungsgebiet der Baar auf der Basis einer LANDSAT 4 TM-Szene vom 07.07.1984. Daraus geht die räumliche Verteilung der einzelnen Landnutzungstypen deutlich hervor. Während im Westen des Ausschnitts und entlang des Lias- und Dogger-Traufs Nadelwälder dominieren, stocken am Malm-Trauf und auf den Hochflächen der Hohen (Schwaben)-Alb und der Baaralb vorwiegend Laubwälder. Der Flächenanteil der Wälder beträgt im dargestellten Ausschnitt 37,2 %, wobei 25,2 % auf die Nadelwälder und 12,0 % auf die Laubwälder entfallen.

In den übrigen Gebieten der Baarhochmulde überwiegt der Anteil der Wiesen/Weiden und Äcker. Diese sind jedoch nicht gleichmäßig über die gesamte Region verteilt, sondern zeigen mitunter gewisse Konzentrationserscheinungen. So nehmen die Wiesen und Weiden in weiten Teilen der Riedbaar einen weitaus größeren Stellenwert ein als die Äcker - neben den pedologischen und hydrographischen Gegebenheiten zum Teil auch eine Folge der besonderen regional-

klimatischen Gegebenheiten und der damit verbundenen starken Spät- und Frühfrostgefährdung der Baar-Niederungen. Eine ähnliche Dominanz des Grünlands zeigt sich auch im Bereich des Oberen Wutachlandes, dem tief eingeschnittenen Donautal sowie den Tälern ihrer Zu- und Nebenflüsse, Teilen der Malm-Hochfläche und der Hegualb im Südosten. Insgesamt beläuft sich der Flächenanteil der Wiesen und Weiden auf 31,6 %.

Mit einem Gesamtanteil von 21,5 % finden sich Ackerflächen verstärkt auf Teilen der Muschelkalk-Stufe, wie etwa zwischen Hüfingen, Bräunlingen und Döggingen, nördlich von Donaueschingen sowie auf der gesamten Lias-Stufe. Die ackerbaulich genutzten Flächen zeichnen damit gleichsam die geländeklimatisch und pedologisch bevorzugten Bereiche der Baar nach - gut zu bearbeitende, ertragreiche Böden und Höhenlagen oberhalb der besonders frostgefährdeten Kaltluftammelgebiete fördern hierbei den Ackerbau. Deutlich heben sich die Siedlungsbereiche bei der Klassifikation hervor. Dabei lassen sich nicht nur die größeren Städte wie Villingen-Schwenningen, Trossingen, Spaichingen, Donaueschingen, etc. erkennen, sondern auch kleinere Dörfer und Gemeinden. Sie sind relativ gleichmäßig über die unbewaldeten Bereiche des Kartenausschnitts verteilt. Der Anteil der bebauten Flächen beläuft sich insgesamt auf 6,0 % des Untersuchungsgebiets. 0,7 % hiervon entfallen auf die dicht bebauten Innenstadtbereiche und größere Industrieansiedlungen. Hinzu kommen die Verkehrswege, die 3,6 % des dargestellten Ausschnitts bedecken. Den Gewässern kommt mit einem Anteil von 0,1 % nur eine untergeordnete Bedeutung zu. Dabei spielt jedoch auch die relativ geringe Auflösung des Satellitenbildes eine wichtige Rolle. So werden eine Vielzahl kleiner Bäche, Gräben und Weiher aber auch zahlreiche Straßen und Wege aufgrund ihrer geringen räumlichen Ausdehnung von der Klassifikation nicht erfasst.

3. Analyse der regionalklimatischen Charakteristika und deren Ursachen

Die wichtigste Grundlage regionalklimatischer Untersuchungen stellt ein möglichst dichtes Netz von Klimastationen dar. Nur mit ihrer Hilfe lässt sich letztendlich ein detailliertes Bild des räumlichen Verteilungsmusters unterschiedlicher Klimatelemente, wie der Temperatur, der Niederschläge, der Windverhältnisse, etc. gewinnen. Die vom Deutschen Wetterdienst und anderen staatlichen oder privaten Betreibern im Bereich der Baar eingerichteten Stationen werden diesen Anforderungen nicht gerecht, ist doch deren Anzahl in bezug auf die Größe des Untersuchungsgebietes zu gering. Darüber hinaus ist das Stationsnetz mitunter räumlich recht inhomogen, und die einzelnen Standorte sind zum Teil nicht repräsentativ für die klimatischen Verhältnisse in ihrer Umgebung.

Vor diesem Hintergrund wurde ab Anfang 1994 mit dem Aufbau eines möglichst dichten temporären Messnetzes auf der Baar begonnen, das die bestehen-



Abb. 2: Überwachte Landnutzungsklassifikation einer LANDSAT 4 TM-Szene vom 07.07.1984 (Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Deutsche Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt)



Abb. 3: Überblick des gesamten Klimastationsnetzes im Untersuchungsgebiet, differenziert nach den jeweiligen Betreibern und mit den entsprechenden Stationskürzeln (Quelle: Eigener Entwurf)

Nr.	Station	Betreiber	Abk.	RW	HW	Höhe	TD	T max
1	Bad Dür rheim	DWD	Bad	3465340	5319580	692		1
2	DS-Weiherhof	Uni.MA	Ds	3463450	5315000	680	1	1
3	DS-Allmendshofen	DWD	DsAl	3463070	5311680	677	1	1
4	DS-Flugplatz	DWD	DsFl	3464100	5315400	682		
5	DS-Im Störling	Priv.	DsSt	3462000	5311850	725	1	1
6	Fürstenberg	Uni.MA	Füb	3466650	5305900	797	1	1
7	Fürstenberg-Läng	Uni.MA	FLä	3468375	5306350	920	1	1
8	Geisingen	DWD	Gs	3473970	5310480	717		
9	Hausen vor Wald	Uni.MA/LfU	HvW	3461125	5396150	770		
10	Heidenhofen	Uni.MA	Hh	3467700	5316275	741	1	1
11	Hüfingen	Uni.MA	Hüf	3462300	5310650	682	1	1
12	Klippeneck	DWD	Kli	3481810	5329770	973	1	1
13	Königsfeld	DWD	Kö	3457310	5333920	758	1	1
14	Neudingen	Uni.MA	Neu	3467875	5308275	672	1	1
15	Öfingen	Uni.MA	Öf	3473000	5317775	841	1	1
16	Öfingen-Wald	Uni.MA/LfU	ÖfW	3472225	5318700	841		
17	Pföhren	Uni.MA	Pfo	3465950	5310500	678	1	1
18	Schwenningen	DWD	Schw	3464760	5324400	715		
19	Spaichingen	DWD	Spa	3479220	5326270	664		
20	Sumpfhöfen	SBK/Uni.MA/LfU	Sum	3464450	5309100	686	1	1
21	Talheim	DWD	Tal	3475000	5319100	775		
22	Tuningen	SBK	Tun	3473400	5321600	778	1	1
23	Unterbaldingen	Uni.MA/LfU	Uba	3471100	5313900	688		
24	Unterhölzer Wald	Uni.MA	UnW	34770025	5312700	723	1	1
25	Villingen 1	DWD	Vil1	3459780	5323220	720	1	1
26	Villingen 2	UMEG	Vil2	3460100	5323510	705	1	1
	Anzahl Stationen						18	18

Tab. 1: Übersicht aller Stationen des regionalen Messnetzes, deren Betreiber,

(RW = Rechtswert, HW = Hochwert, TD = Temperaturmittel, T max = Temperaturmaximum, T min = Temperaturminimum, rFD = Durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit, N = Niederschlagsmenge, ShD = Gesamtschneehöhe, Ns = Neuschneehöhe, Bd = Bedeckungsgrad der Schneedecke, Ez = Erdbodenzustand, We = Wetterereignisse, WgD = Windgeschwindigkeit, WrD = Windrichtung, S = Sonnenscheindauer, LD

T min	rFD	N	ShD	Ns	Bd	Ez	We	WgD	WrD	S	LD	St	V	Tdx	El.
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				14
1	1														4
1	1	1	1	1	1	1	1							1	11
								1	1	1					3
1	1	1						1	1		1	1			9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	16
1	1	1													5
		1	1	1	1	1	1								6
								1	1						2
1	1	1	1	1	1		1								9
1	1	1	1	1	1		1								9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1					13
1	1	1	1	1	1		1								10
1	1	1	1	1	1		1								9
								1	1						2
1	1														4
		1	1	1	1	1	1								6
		1	1	1	1	1	1								6
1	1	1						1	1						7
		1	1	1	1	1	1								6
1	1	1													5
								1	1						2
1	1	1	1	1	1		1								9
1	1	1	1	1	1	1	1								10
1	1	1						1	1			1			8
18	18	20	15	15	15	15	10	15	11	6	4	2	1	3	

geographische Koordinaten und den an ihnen erfassten Klimaelementen

= Luftdruck, St = Globalstrahlung, V = Evapotranspiration, Tdx = Erdbodentemperaturen in verschiedenen Tiefen), El. = Anzahl der Elemente, DS = Donaueschingen, Uni.MA = Universität Mannheim, DWD = Deutscher Wetterdienst, LfU = Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, SBK = Schwarzwald-Baar-Kreis, UMEG = Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen GmbH, Priv. = privater Betreiber (Quelle: Eigener Entwurf)

den Stationen ergänzen und erweitern sollte. In seiner höchsten Ausbaustufe umfasst es insgesamt 12 Stationen. Bei der Untersuchung der Windverhältnisse wurde der Autor von der Landesanstalt für Umweltschutz (LfU) in Karlsruhe unterstützt, die freundlicherweise fünf vollelektronische Windmessenanlagen zur Verfügung stellte und bei deren Installation sowie der Bereitstellung der Daten behilflich war. Hinzu kommen die Daten von 10 Klimastationen, die in der Region vom Deutschen Wetterdienst (DWD) betrieben werden, zwei Stationen des Landkreises Schwarzwald-Baar (SBK), einer Station der Gesellschaft für Umweltmessungen und Umwelterhebungen GmbH (UMEG) in Karlsruhe sowie einer von Herrn Dipl.-Ing. Christian Kaiser privat betriebenen Station (Priv.). Alles in allem umfasst das Stationsnetz 26 Standorte. Die Abb. 3 zeigt die Lage der einzelnen Klimastationen im Überblick mit Informationen über die jeweiligen Betreiber und die verwendeten Stationskürzel. Eine detailliertere Stationsübersicht mit Angaben zu den an den einzelnen Standorten erfassten Klimaparametern findet sich in Tab. 1.

Aufgrund der gegebenen Datengrundlage konzentrieren sich die regionalklimatischen Analysen auf den zweijährigen Zeitraum von Juli 1994 bis Juni 1996, da vor Juli 1994 von einer Vielzahl der Stationen des temporären Messnetzes noch keine Werte zur Verfügung stehen. Der Untersuchungszeitraum umfasst daher zwei volle Jahre. Trotz dieses für klimatische Fragestellungen relativ kurzen Zeitraums liefern die auf der zweijährigen Datenbasis gewonnenen Ergebnisse aus regionalklimatischer Sicht statistisch hinreichend abgesicherte Ergebnisse. Zwar können die absoluten Werte von den entsprechenden langjährigen Mitteln mitunter abweichen. Die räumlichen Unterschiede sind hiervon jedoch kaum betroffen und stellen sich als weitestgehend konstant dar. Durch die geplante Fortführung des Forschungsprojektes lassen sich die gewonnenen Ergebnisse zudem zu einem späteren Zeitpunkt durch längere Messreihen verifizieren und gegebenenfalls modifizieren.

3.1. Die thermische Kontinentalität

Die Abb. 4 zeigt die mittlere Zahl der monatlichen Sommertage an verschiedenen Standorten des regionalen Stationsnetzes für den Zeitraum von Juli 1994 bis Juni 1996. Die Standorte in den Niederungen der Baar weisen dabei zumeist die höchsten Werte auf. Im Mai und Juni steigt die Zahl der Tage mit Höchsttemperaturen von mindestens 25 °C zunächst nur allmählich an. Bereits in diesen Monaten zeigen sich starke regionale Unterschiede, verzeichnen doch die am tiefsten gelegenen Stationen die höchsten Werte. Neudingen und Pfohren erreichen dabei mit jeweils 2,5 (Mai) bzw. 7,5 (Juni) die größte Zahl an Sommertagen des gesamten Stationsnetzes. Der Standort Klippeneck weist im Mai zusammen mit Villingen 1 keinen Sommertag auf und im Juni nur 2,0

Tage. Während die Höhenabhängigkeit der Zahl der Sommertage im Mai mit einer erklärten Varianz von 27 % noch vergleichsweise gering ist, steigt der Wert im Juni bereits auf 60 % an.

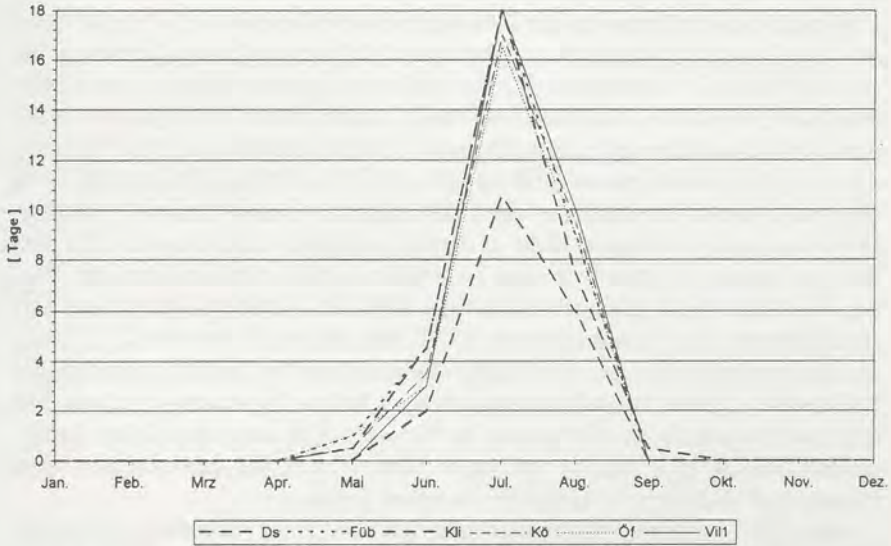


Abb. 4: Mittlere monatliche Zahl der Sommertage an verschiedenen Stationen des regionalen Messnetzes im Zeitraum Juli 1994 bis Juni 1996 (Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Regionales Klimamessnetz, Deutscher Wetterdienst)

Im Juli erreicht die Zahl der Tage mit Höchsttemperaturen von mindestens 25 °C an allen Standorten ihr Maximum. Die Spanne der Werte reicht dabei von 10,5 Tagen auf dem Klippeneck bis zu 21,5 Tagen an der Station Neudingen. Mit der zunehmenden sommerlichen Erwärmung wächst auch die höhenabhängige Differenzierung der Zahl der Sommertage und erreicht im Juli mit einer erklärten Varianz von 84 % ihren größten Wert. Bereits im August nimmt sowohl das Ausmaß des vertikalen Gradienten als auch die Zahl der Sommertage deutlich ab. Bei 6,0 (Klippeneck) bis 12,5 (Neudingen und Pfohren) Tagen mit Höchsttemperaturen von mindestens 25 °C geht die erklärte Varianz auf 55 % zurück. Im September fällt das Maximum der Zahl der Sommertage mit jeweils 1,0 auf die Stationen Heidenhofen und Pfohren. Im Oktober verzeichnen

nur noch die Standorte Hüfingen und Neudingen im Durchschnitt jeweils 0,5 Sommertage. Die Abhängigkeit der Werte von der geographischen Lage der Stationen, die sich im Rechts- und Hochwert ausdrückt, ist das ganze Jahr über relativ gering und erreicht Maxima der erklärten Varianzen von 40 % (Juli) bzw. 47 % (Mai / Juni).

Im Mittel des zweijährigen Beobachtungszeitraums von Juli 1994 bis Juni 1996 treten an den Stationen des Messnetzes durchschnittlich 34,3 Sommertage auf. Die Spanne der Werte reicht dabei von 18,5 Tagen auf dem Klippeneck bis zu 45,0 Tagen in Neudingen. Als durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert aller Standorte (Standardabweichung) ergeben sich 7,3 Tage und somit eine durchschnittliche prozentuale Differenz (Variationskoeffizient) von 21,2 %. Auch bei den Jahressummen zeichnet sich bei einer erklärten Varianz von 71 % eine recht starke Höhenabhängigkeit der Zahl der Sommertage ab. Dennoch fügen sich einige Stationen nicht in diesen vertikalen Gradienten ein. So verzeichnet etwa die Station Villingen 1 vor allem im Mai und Juni vor dem Hintergrund ihrer recht geringen Höhenlage von 720 m relativ wenig Tage mit Höchsttemperaturen von mindestens 25 °C. Ähnliches gilt auch für Königsfeld, bei dem insbesondere der thermische Ausgleichseffekt größerer umliegender Waldareale zu einer vergleichsweise geringen Zahl an Sommertagen führt. Mit erklärten Varianzen von 22 % bzw. 49 % lassen sich diese räumlichen Unterschiede jedoch auch nur in geringem Maße durch die Abhängigkeit vom Rechts- und Hochwert der einzelnen Stationen begründen.

Die Abb. 5 stellt die durchschnittliche jahreszeitliche Verteilung der monatlichen Zahl der Frosttage an verschiedenen Stationen des Untersuchungsgebiets für den Zeitraum von Juli 1994 bis Juni 1996 dar. Die Zahl der Frosttage erreicht im Januar ihr jährliches Maximum. In diesem Monat treten im Mittel des Stationsnetzes 26,3 Frosttage auf. Die Spanne der Werte reicht dabei von 21,5 Tagen in Heidenhofen bis 28,5 Tagen in Bad Dürkheim. Im weiteren Verlauf des Jahres nimmt die Zahl der Frosttage - von einem vorübergehenden Anstieg im März abgesehen, der auf einen außergewöhnlich milden Februar 1995 und einen kalten März 1996 zurückzuführen ist - relativ rasch ab. Erst im Juni treten jedoch an den Stationen des Untersuchungsgebiets im Zeitraum von Juli 1994 bis Juni 1996 keine Fröste mehr auf. Einzig die Station Donaueschingen-Weiherhof verzeichnet selbst in diesem Frühsommermonat im Mittel noch 0,5 Frosttage. Bereits im September treten an sieben Stationen wieder Temperaturen am oder unter dem Gefrierpunkt auf. Die in den Niederungen der Baarhochmulde gelegenen Standorte Bad Dürkheim und Donaueschingen-Weiherhof erreichen in diesem Monat mit jeweils 1,5 Frosttagen die Höchstwerte des Stationsnetzes. Bis zum Januar steigen die Werte immer stärker an. Im Jahresmittel werden im Durchschnitt aller Stationen 122,3 Frosttage verzeichnet. Bei einer

Standardabweichung von 10,7 Tagen weichen die Einzelwerte von diesem Mittel durchschnittlich um 8,8 % (Variationskoeffizient) ab. Die absolute Wertespanne reicht dabei von 105,5 Tagen in Fürstenberg bis zu 140,5 Tagen in Donaueschingen-Weiherhof.

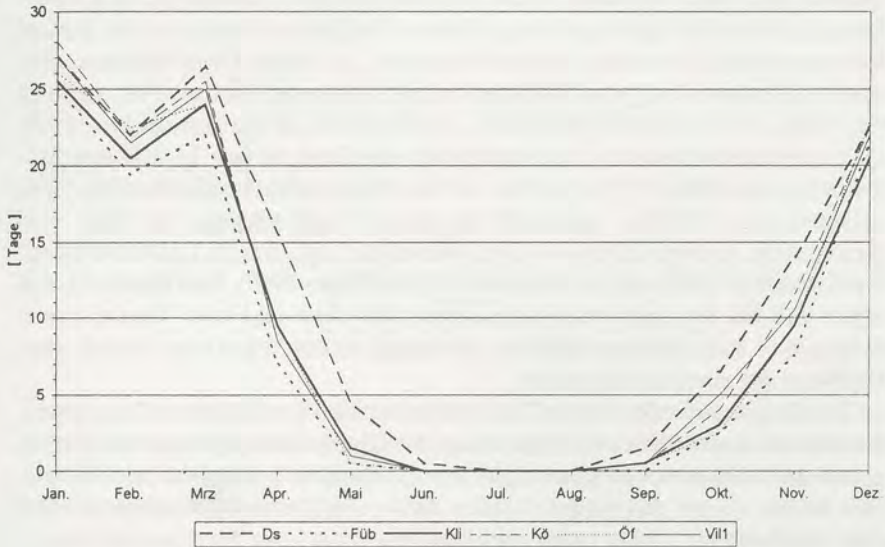


Abb. 5: Mittlere monatliche Zahl der Frosttage an verschiedenen Stationen des regionalen Messnetzes im Zeitraum Juli 1994 bis Juni 1996 (Quelle: Eig. Entwurf, Datengrundlage: Regionales Klimamessnetz, Deutscher Wetterdienst)

Im Gegensatz zur Zahl der Sommertage lässt sich bei den Frosttagen kaum eine einheitliche Höhenabhängigkeit erkennen. Die erklärte Varianz erreicht in den einzelnen Monaten nur Werte bis zu 40 % (Oktober). Zumeist liegen sie jedoch deutlich unter 30 %. Bei den Jahressummen ergibt sich eine erklärte Varianz von 27 %. Dennoch lässt sich eine Abhängigkeit der Zahl der Frosttage von der Höhe erkennen, die jedoch nicht linear verläuft. So streuen die Werte bei den in den Niederungen der Baar unter 700 m Höhe gelegenen Stationen in bezug auf die Jahressummen erheblich. Es wird trotz sehr geringfügiger Höhenunterschiede zwischen den einzelnen Standorten eine Spanne von 114,0 Frosttagen

in Hüfingen (682 m) bis 140,5 Tagen in Donaueschingen-Weiherhof (680 m) verzeichnet. Oberhalb von 700 m variieren die Werte weit weniger, und es deutet sich ein vertikaler Gradient an, bei dem die Zahl der Frosttage im Mittel mit zunehmender Höhe abnimmt (vgl. Abb. 5).

Die starke Streuung der Werte in den tiefsten Lagen der Baarhochmulde verdeutlicht den großen Einfluss des örtlichen Kleinreliefs und der Landnutzung auf die thermischen Gegebenheiten. Geringfügige Geländeerhöhungen können dabei zu einem lokalen Stau von Kaltluftmassen führen, die eine Erhöhung der Frosthäufigkeit zur Folge haben. Die hohen Werte an der Station Donaueschingen-Weiherhof verdeutlichen dies, in erster Linie hervorgerufen durch die Stauwirkung von Straßendämmen. Die große Zahl an Frosttagen in Neudingen (672 m) und Pfohren (678 m) geht indes auf die eigentlichen, großräumigen Kaltluftseen über den Niederungen der Baar zurück. In Donaueschingen-Allmendshofen (677 m) machen sich der thermische Ausgleichseffekt eines nahegelegenen Waldes und stadtklimatische Gegebenheiten in einer vergleichsweise geringen Frosthäufigkeit bemerkbar (vgl. VOGT, LAUFERSWEILER, SIEGMUND 1997; KLAUS, LAUFERSWEILER, SIEGMUND 1997). Aus diesem Grund ergibt sich bei den mittleren Jahressummen mit einer erklärten Varianz von 6 % bzw. 8 % auch nur eine minimale Abhängigkeit der Werte vom Rechts- bzw. Hochwert der einzelnen Stationen.

Die Abb. 6 stellt den Verlauf der Pentadenmittel der täglichen Temperaturminima an verschiedenen Klimastationen des Untersuchungsgebiets dar. Daraus gehen die differenzierten jahreszeitlichen Temperaturverhältnisse noch deutlicher hervor als aus den entsprechenden durchschnittlichen Monatssummen der Zahl der Frosttage. Dabei treten vor allem besonders kalte Perioden in Erscheinung. Im Winter und Frühjahr wird dies besonders deutlich. Die jahreszeitlich differenzierten vertikalen Temperaturgradienten lassen dabei auf die Genese der Kaltluft schließen. So weisen in den Sommer- und Herbstmonaten sehr häufig die Standorte der mittleren und höheren Lagen die Maxima der dargestellten sieben Stationen auf. Dies gilt insbesondere für Fürstenberg und das Klippeneck. Ein extremes Beispiel zeigt sich um die 60. Pentade (23.-27.10.).

In diesem Zeitraum treten in Fürstenberg wesentlich höhere Temperaturminima auf als an allen anderen Stationen. Die Tiefstwerte fallen jeweils auf die Standorte Donaueschingen-Allmendshofen, Neudingen und Villingen 1 der Baar-Niederungen. Ursache hierfür ist Ausstrahlungskälte („Ausstrahlungsfroste“). Sie entsteht bei autochthonen Strahlungswetterlagen durch die starke nächtliche Abkühlung der bodennahen Luftschichten. Die sich dabei bildenden Kaltluftmassen sammeln sich in den tieferen Lagen der Baarhochmulde und lassen somit die für die Region typischen Kaltluftseen entstehen - eine Temperaturinversion ist die Folge. Das geringe Gelände im Bereich der Klimastation



Abb. 6: Jahreszeitlicher Verlauf der Pentadenmittel der Temperaturminima an verschiedenen Stationen des regionalen Messnetzes im Zeitraum Juli 1994 bis Juni 1996 (Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Regionales Klimamessnetz, Deutscher Wetterdienst)

Fürstenberg begünstigt dabei den Abfluss der bodennahen Kaltluft in tiefer gelegene Regionen. Durch die nach Westen bis Südwesten exponierten Hänge und die dadurch bedingte längere und stärkere nachmittägliche Sonneneinstrahlung setzt dort darüber hinaus die nächtliche Abkühlung später und in geringerem Umfang ein als in anderen Regionen. Aus diesem Grund fallen die Temperaturminima in Fürstenberg zumeist wesentlich höher aus als bei der Mehrzahl der anderen Stationen im Untersuchungsgebiet.

Anders stellen sich die Verhältnisse vor allem im Winter und Frühjahr dar. In diesem Zeitraum liegen die mittleren Temperaturminima an den Stationen der Baar-Niederungen auch in kälteren Phasen mitunter auf dem gleichen Niveau oder über dem der Standorte der mittleren und höheren Lagen. In der 27./28. Pentade (11.-15.05. bzw. 16.-20.05.) wird dies am deutlichsten. Die Kaltluft ist in diesen Zeiträumen vorwiegend advektiven Ursprungs. Dabei fließen zumeist Luftmassen arktischen oder polaren Ursprungs von Norden in

die in dieser Richtung weitgehend offene Baarhochmulde ein. Die damit verbundene Durchmischung der bodennahen Atmosphärenschichten hat einen adiabatischen Temperaturgradienten zur Folge, so dass die höher gelegenen Stationen durchschnittlich tiefere Temperaturminima verzeichnen als die Standorte der Niederungen.

Die mit der Bildung von Kaltluftseen verbundenen Inversionsschichten über der Baarhochmulde haben thermische Effekte zur Folge, die durch charakteristische Tagesgänge der Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit in unterschiedlichen Höhenlagen gekennzeichnet sind. Ein Vergleich der mit 672 m zu den am tiefsten gelegenen Standorten des Messnetzes zählenden Station Neudingen und Fürstenberg, das sich nur etwa 2,5 km südwestlich und in 797 m Höhe befindet, soll dies verdeutlichen. Die Station Fürstenberg-Länge in 920 m Höhe repräsentiert die Temperatur- und Luftfeuchteverhältnisse der höchsten Lage des Untersuchungsgebiets. Die Abb. 7 zeigt den Temperaturverlauf an diesen drei Standorten während einer winterlichen Strahlungswetterlage vom 26.2.96 bis zum 29.2.96. Der Zeitraum war durch steigenden Luftdruck gekennzeichnet, der am 29.2. mit einem Tagesmittel von 933,8 hPa an der Station Fürstenberg sein Maximum erreichte. Durch das hohe Luftdruckniveau stellte sich eine austauscharme Witterung ein. Mit dem hohen Luftdruck war ein weitestgehend wolkenloser Himmel verbunden, so dass sich tagsüber optimale Einstrahlungsbedingungen einstellten. Durch den klaren Himmel war jedoch auch die nächtliche Ausstrahlung sehr stark, so dass die Wetterlage insgesamt durch autochthone Strahlungsbedingungen gekennzeichnet war.

Aus der Abb. 7 lässt sich die tageszeitliche Entwicklung des thermischen Höhengradienten deutlich erkennen. An allen drei Stationen setzt ab etwa 16 Uhr MEZ der nächtliche Temperaturrückgang ein. Zu diesem Zeitpunkt erreichen die Standorte jeweils ein ähnliches Temperaturniveau. In Neudingen liegen die Werte jedoch um etwa 1 bis 3 °C höher als in Fürstenberg und auf der Länge. Aufgrund ihrer Höhenlage und Exposition erreichen die beiden letztgenannten Standorte ihr nachmittägliches Temperaturmaximum etwas später als Neudingen, so dass der Rückgang der Temperaturen zum Teil erst gegen 18 Uhr MEZ deutlich wird. Während die Abkühlung in Fürstenberg und auf der Länge vergleichsweise langsam verläuft, gehen die Temperaturen in Neudingen sehr viel rascher zurück. Der Rückgang ist dabei unmittelbar nach dem mittäglichen Maximum am stärksten und schwächt sich bis zum Temperaturminimum am Morgen allmählich ab. Aus diesem Grund nehmen die Temperaturunterschiede zwischen den einzelnen Standorten im Laufe der Nacht zu und erreichen kurz vor Sonnenaufgang gegen 8 Uhr MEZ ihr Maximum. Die Differenzen zwischen Neudingen und Fürstenberg erreichen im dargestellten Beispiel bis zu 8 °C. An der Station Fürstenberg-Länge liegen die Temperaturen um weitere 2 °C höher

als in Fürstenberg. Dies verdeutlicht die große vertikale Ausdehnung, die die bodennahe Inversionsschicht im Winter mitunter erreichen kann. Am Morgen des 27.2. stellt sich zwischen den Niederungen der Baar und den höchsten Lagen eine Temperaturdifferenz von rund $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro 100 m ein. Zwischen Neudingen und Fürstenberg ist sogar ein höhenabhängiger Temperaturgradient von etwa $6,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro 100 m zu verzeichnen.

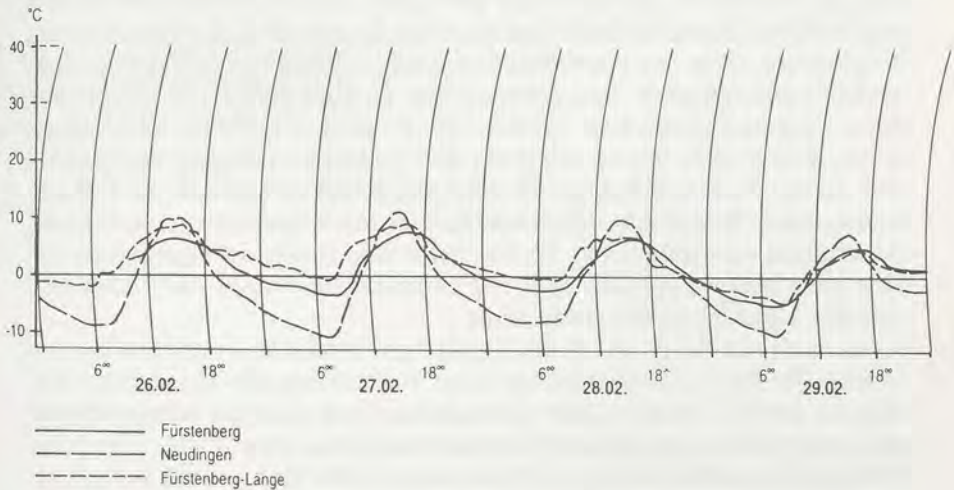


Abb. 7: Temperaturverlauf an den Stationen Neudingen, Fürstenberg und Fürstenberg-Länge vom 26.-29.02.96 (Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Regionales Klimamessnetz)

Die Ursachen für die häufige nächtliche Bildung von Kaltluftseen auf der Baar sind vielschichtig. Wesentliche Voraussetzung ist die regionale Topographie, die eine Hochmulde ausbildet. Dadurch können die Kaltluftmassen nicht abfließen und stauen sich somit. Nur das Donautal bei Geisingen bildet für die tiefsten Lagen eine, wenn auch vergleichsweise enge Abflussrinne. Erst in etwa 710 m Höhe finden sich durch den Überlauf ins Neckartal nördlich von Bad Dürkheim weitere Abflussmöglichkeiten für die Kaltluft. In 740 m kann die Kaltluft im Süden des Untersuchungsgebiets bei Hausen vor Wald und Döggingen in das Einzugsgebiet der Gauchach und Wutach abfließen, in rund 750 m

bei Tuningen im Nordosten in das Krähenbachtal (vgl. PLAETSCHKE 1953, S. 5, S. 15).

Die relativ große Höhenlage des Gebiets hat bei autochthonen Wetterlagen in der Nacht eine starke Ausstrahlung zur Folge. Die offenen, weitgehend baumlosen Flächen begünstigen dies ebenso (vgl. Abb. 2), wie der mitunter feuchte Untergrund, der einen zusätzlichen Übergang fühlbarer in latente Wärme zur Folge hat. Darüber hinaus strömen Kaltluftmassen aus einem großen Einzugsgebiet ein, das im Schwarzwald bis nach St. Georgen und Furtwangen reicht und im Osten durch die Hochlagen der Hohen (Schwaben)-Alb und Baaralb begrenzt wird. Dabei sind nicht nur die tiefen Temperaturen, die diese Luftmassen kennzeichnen, von besonderer Bedeutung, sondern vielmehr ihre geringe relative Luftfeuchtigkeit. Dadurch kann sich die einfließende Luft infolge des tiefen Taupunkts noch stärker abkühlen, da die mit dem Einsetzen der Kondensation freiwerdende Wärme einen weiteren Temperaturrückgang abschwächt. Der geringe Feuchtigkeitsgehalt der Luft geht darauf zurück, dass die von den umliegenden Höhenlagen abfließende Kaltluft durch Luftmassen aus höheren Atmosphärenschichten ersetzt werden. Diese sind gerade bei divergenten, absinkenden Strömungsbedingungen, wie sie im Einflussbereich von Hochdruckgebieten auftreten, zumeist sehr trocken.

Es stellt sich die Frage, ob die ausgeprägte thermische Kontinentalität des Klimas der Baar im Vergleich zu ihren Nachbarregionen einem zeitlichen Wandel unterlag. Dabei eröffnen Zeitreihenanalysen einzelner Klimastationen mit entsprechend weit zurückreichenden Datenreihen einen Einblick in langfristige Klimatrends. Auch von der Baar stehen solche Stationen zur Verfügung. Dabei kommt insbesondere Donaueschingen eine wichtige Bedeutung zu, liegen doch von der Klimastation standardisierte und homogenisierte Temperaturzeitreihen vor, die bis 1881 zurückreichen. Einige Datenlücken der Station Donaueschingen in den Kriegs- und Nachkriegsjahren 1941-1947 und 1951/1952 konnten hierbei durch entsprechende Angaben von Villingen geschlossen werden. Die Abb. 8 zeigt den Verlauf der jährlichen Durchschnittstemperaturen dieser Station. Darüber hinaus sind die Werte der 10- und 30-jährigen Gauß'schen Tiefpassfilterung sowie eine lineare und quadratische Regressionskurve eingezeichnet. Die Differenz der 30-jährigen Tiefpassfilterung gegenüber dem langjährigen Mittelwert, der als waagrechte Linie ebenfalls dargestellt ist, wird zusätzlich durch eine Schraffur hervorgehoben. Dadurch heben sich kältere und wärmere Perioden deutlich voneinander ab.

Aus dem Verlauf der linearen Regressionsgeraden geht hervor, dass die Station Donaueschingen einen positiven Temperaturtrend zeigt. An der Klimastation wurde für den Zeitraum zwischen 1881 und 1990 eine Temperaturzunahme von rund $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ermittelt (vgl. Abb. 8). Dieser lineare Trend vollzog sich dabei

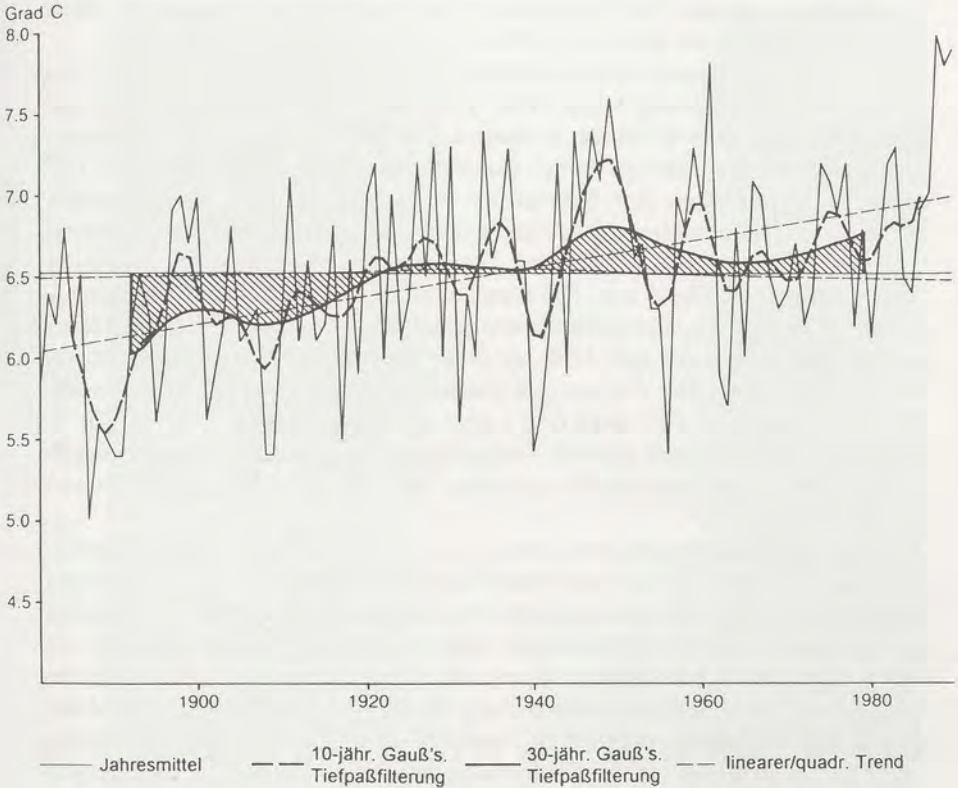


Abb. 8: Verlauf der jährlichen Durchschnittstemperaturen, der Werte der 10- und 30-jährigen Gauß'schen Tiefpassfilterung sowie des linearen und quadratischen Trends an der Klimastation Donauessingen von 1881-1990 (Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst)

nicht kontinuierlich, sondern spiegelt eine wechselhafte Klimageschichte wider, in der wärmere und kältere Perioden einander ablösten. Die 10-jährige und 30-jährige Gauß'sche Tiefpassfilterung machen diese Phasen deutlich. Das Ende des 19. Jh. war in Donauessingen demnach durch eine besonders kalte Klimaepoche geprägt. Die Temperaturen erreichten im Mittel die tiefsten Werte der gesamten Zeitreihe, und 1887 wurde mit einer jährlichen Durchschnittstemperatur von 5,0 °C das absolute Minimum der zugrundeliegenden 110 Jahre er-

reicht. Nach einem vorübergehenden Temperaturanstieg bis kurz vor die Jahrhundertwende gingen die Temperaturen bis etwa 1908 erneut zurück, ohne jedoch das Niveau um 1890 zu erreichen.

Nach diesem Zeitpunkt stellte sich eine allmähliche Erwärmung ein, die, von kleineren Unterbrechungen um 1918, 1930 und 1940 abgesehen, bis in die Mitte des Jahrhunderts anhielt. In diesem Zeitraum erreichten die Temperaturen in Donaueschingen im Mittel die höchsten Werte der dargestellten 110 Jahre, was sowohl aus dem Verlauf der 10-jährigen als auch der 30-jährigen Gauß'schen Tiefpassfilterung deutlich hervorgeht. Bis zum Anfang der siebziger Jahre setzte sich ein rückläufiger Temperaturtrend ein, der von sekundären Fluktuationen überlagert war. Seit diesem Zeitpunkt ist eine neuerliche Erwärmung zu beobachten, die am Ende der achtziger Jahre ihren bisherigen Höhepunkt fand. So war das Jahr 1988 mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,0 °C das wärmste der 110-jährigen Zeitreihe an der Station Donaueschingen. Seither wurde jedoch 1992 mit 8,0 °C nochmals der gleiche Wert, 1994 mit 9,0 °C sogar ein noch deutlich höheres Temperaturniveau erreicht. Insgesamt ergibt sich für die Temperaturzeitreihe zwischen 1881 und 1990 ein Mittelwert von 6,5 °C.

Trotz des Temperaturanstiegs von etwa 1,0 °C an der Klimastation Donaueschingen seit 1881 auf der Basis einer linearen Regression, zeigt dieser Trend aus statistischer Sicht keine allzugroße Signifikanz. Dabei spielen vor allem die großen interannualen Schwankungen eine entscheidende Rolle, die auch als „Rauschen“ bezeichnet werden. Durch die Standardabweichung der Temperatur, die als durchschnittliche Abweichung der einzelnen Jahreswerte vom Mittel der gesamten Zeitreihe definiert ist, lässt sich dieses Rauschen statistisch quantifizieren. Sie beträgt an der Station Donaueschingen 0,64 °C. Daraus ergibt sich ein Trend-Rausch-Verhältnis (Quotient aus dem linearen Temperaturtrend und der Standardabweichung der Zeitreihe) von 1,54. Der Trend weist damit ein Signifikanzniveau auf, das mit 87 % leicht unter dem kritischen Schwellenwert 90 % liegt. Auch der (Pearson'sche) Korrelationskoeffizient zwischen den jährlichen Durchschnittstemperaturen und der Jahreszahl deutet mit 0,45 ebenfalls auf eine relativ geringe Signifikanz des Temperaturtrends hin.

Noch wichtiger für die Beurteilung der Entwicklung der thermischen Kontinentalität auf der Baar als die jährlichen Durchschnittstemperaturen sind die jahreszeitlich differenzierten Temperaturveränderungen. Die Abb. 9 zeigt eine in dieser Form neu entwickelte Darstellung einer Klimazeitreihe, aus der gleichzeitig solche jahreszeitlichen Differenzierungen hervorgehen am Beispiel der Temperaturentwicklung an der Klimastation Donaueschingen von 1881-1990. Die Grafik wurde mit Hilfe des Programms SURFER generiert, mit dem vor allem räumliche Interpolationen für digitale Geländemodelle durchgeführt

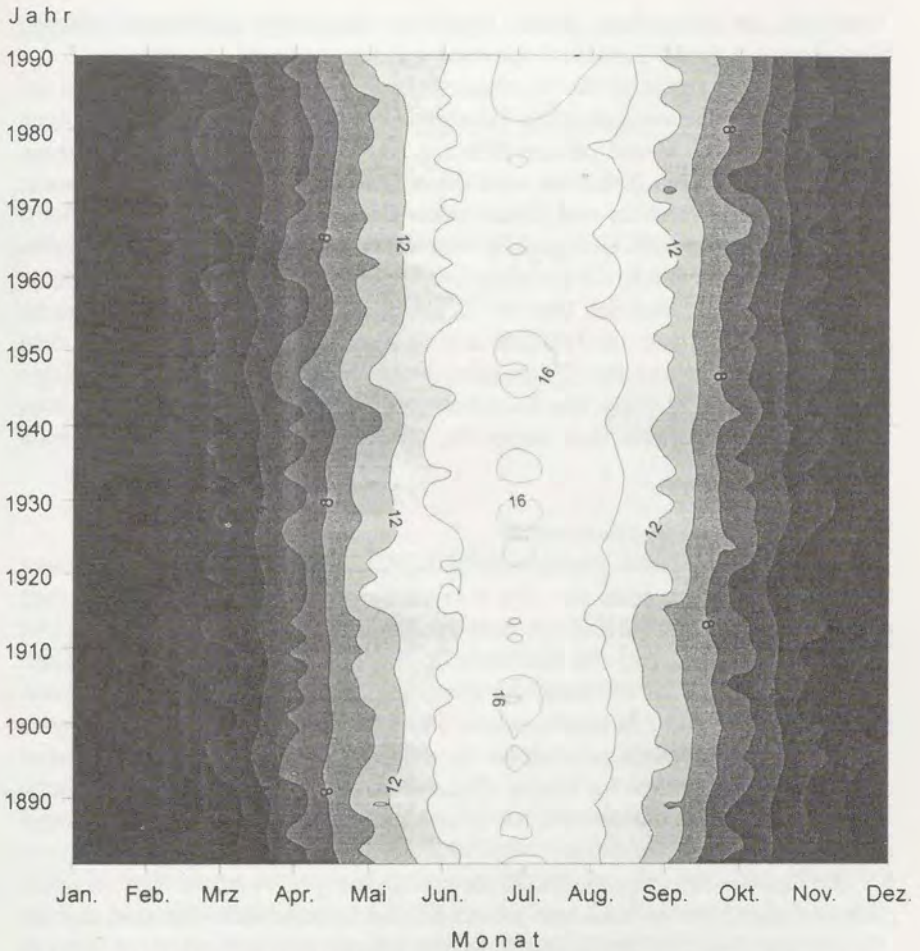


Abb. 9: Darstellung der jahreszeitlich differenzierten Temperaturentwicklung an der Klimastation Donaueschingen von 1881-1990 (Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst)

werden können (vgl. Abb. 1). Ein entsprechender Aufbau liegt auch dem Entwurf der Abb. 9 zugrunde. Die Darstellung basiert auf den einzelnen monatlichen Durchschnittswerten der Temperatur aller Beobachtungsjahre der Zeitreihe. Auf dieser Grundlage können mit dem Programm entsprechende Isolinien berechnet werden. Dabei kam bei der Interpolation das sogenannte Kriging-

Verfahren zur Anwendung, dessen Ergebnisse durch eine zusätzliche Glättung der Linien („smooth“-Funktion) optimiert wurden.

Die Darstellung zeigt die kontinuierliche Zunahme der Temperaturen im Winter, die durch eine rückläufige Häufigkeit von Werten unter $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ am linken (Januar und Februar) und rechten Bildrand (Dezember) zum Ausdruck kommt. In den letzten 10 bis 20 Jahren wird diese Tendenz besonders deutlich, treten doch zwischen Dezember und Januar selbst Durchschnittstemperaturen unter $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ immer seltener auf. Gleichzeitig wird die leichte Erwärmung im Sommer und Frühherbst deutlich, die vor allem im August und September zu beobachten ist - der Temperaturbereich über $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ schert im Verlauf der Zeitreihe immer mehr nach rechts aus. Im Frühjahr und Spätherbst macht sich hingegen eine weitgehende Konstanz des Temperaturniveaus zwischen 1881 und 1990 bemerkbar. Sie kommt durch den fast parallelen und im Durchschnitt senkrechten Verlauf der Isothermen zum Ausdruck, die nur kurzzeitigen Schwankungen unterliegen.

3.2. Die hygrische Kontinentalität

Die Abb. 10 stellt die jahreszeitliche Niederschlagsverteilung ausgewählter Stationen des Messnetzes dar. Die Kurven zeigen an allen Standorten einen auffallend ähnlichen Verlauf, der dem der langjährigen Mittelwerte weitgehend entspricht. Deutlich tritt das sommerliche Niederschlagsmaximum in Erscheinung. Es reicht an der Mehrzahl der Stationen, zum Teil von etwas trockeneren Phasen im Juni und Juli unterbrochen, von Mai bis September. Vor und nach diesem Hauptmaximum verzeichnen die Niederschläge im April und Oktober ihre jährlichen Minima. Im Winter (Dezember - Januar) stellt sich ein sekundäres Niederschlagsmaximum ein, das an den meisten Stationen deutlich geringer ausgebildet ist als im Sommer.

Die Spanne der monatlichen Niederschlagsmengen zwischen den verschiedenen Stationen zeigt markante jahreszeitliche Unterschiede. Sie lässt auf die Genese der Niederschläge in den einzelnen Jahreszeiten schließen. Im Sommer ist die Variationsbreite am größten. Im Juli wird dies besonders deutlich. Während die Station Villingen 1 mit $56,0\text{ mm}$ in diesem Monat die geringste Niederschlagsmenge der dargestellten Standorte verzeichnet, erreicht das Klippeneck $165,5\text{ mm}$ - eine Differenz von $121,3\text{ mm}$. So ergeben sich auch für die Standardabweichungen und die Variationskoeffizienten der monatlichen Niederschlagssummen innerhalb des gesamten Messnetzes in den Sommermonaten von Mai bis September mit durchschnittlich $17,2\text{ mm}$ bzw. $20,4\text{ \%}$ höhere Werte als im Winter. Die Spanne reicht bei der Standardabweichung von $8,7\text{ mm}$ im September bis $28,3\text{ mm}$ im Juli, während der Variationskoeffizient mit $9,2\text{ \%}$ im Mai und $33,2\text{ \%}$ im Juli seine Extremwerte verzeichnet.

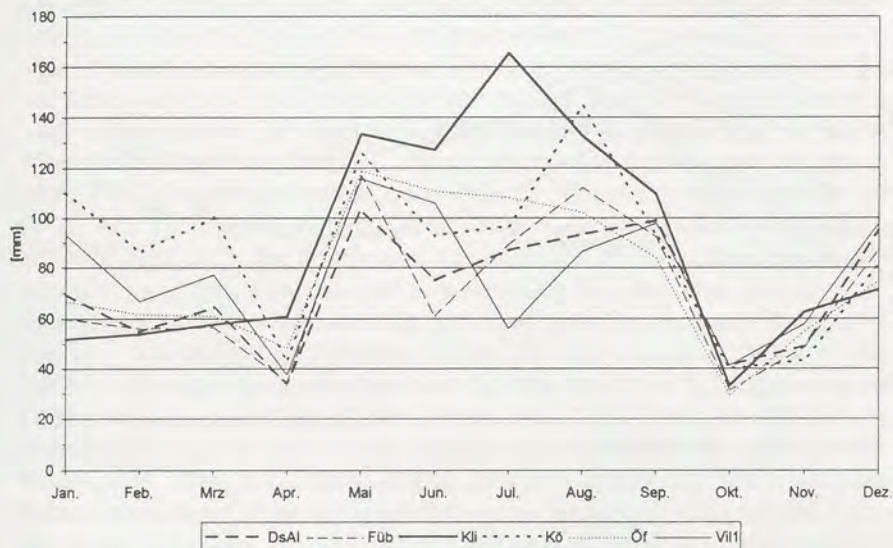
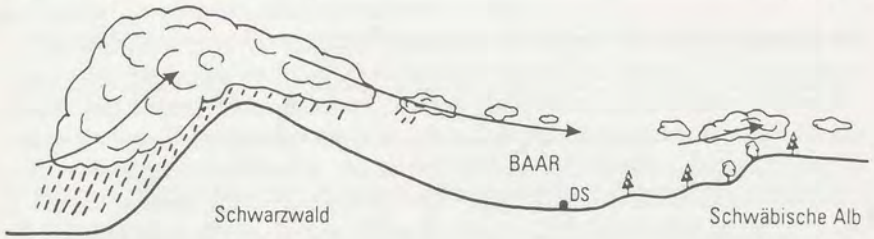


Abb. 10: Mittlere monatliche Niederschlagsmengen an verschiedenen Stationen des regionalen Messnetzes im Zeitraum Juli 1994 bis Juni 1996 (Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Regionales Klimamessnetz, Deutscher Wetterdienst)

Ursache dieser erheblichen regionalen Differenzierung der Niederschlagsverteilung sind die im Sommer vorwiegend auftretenden konvektiven Niederschläge. Abb. 11 stellt deren Entstehung stark vereinfacht dar. Sie sind eine Folge der starken Sonneneinstrahlung und damit Erwärmung der bodennahen Luftschichten, die zu einem Aufstieg der Luftmassen führt. Durch Abkühlung und einsetzende Kondensation bilden sich Cumuluswolken - je nach Entwicklungsstadium Cumulus Humilis, Cumulus Congestus oder Cumulonimbus - aus denen mit zunehmender vertikaler Mächtigkeit zum Teil heftige Niederschläge fallen. Durch die zellenartige Struktur der Bewölkung und bestimmten Zugbahnen, denen die Schauer aufgrund der übergeordneten Strömung folgen, treten die Niederschläge jeweils zumeist nur in einzelnen Landstrichen auf (vgl. WAGNER 1964). Je nach Lage der Messstationen ergeben sich daraus innerhalb eines zweijährigen Untersuchungszeitraumes mitunter erhebliche regionale Unterschiede, die sich mit wachsender Beobachtungsdauer allmählich ausgleichen. Dennoch zeigt sich bereits im Zeitraum von Juli 1994 bis Juni 1996 ein markantes Nordost-Süd-

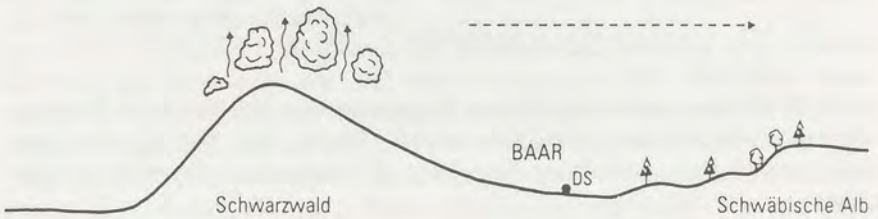
advectiver Niederschlagstyp

(Winter)



konvektiver Niederschlagstyp, Vormittag

(Sommer)



konvektiver Niederschlagstyp, Nachmittag

(Sommer)

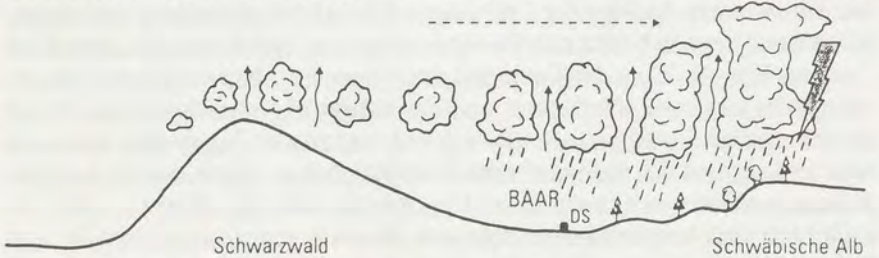


Abb. 11: Stark vereinfachte Darstellung der Entwicklung advectiver und konvektiver Niederschlagstypen über der Baar (Quelle: Eigener Entwurf)

west-Gefälle und eine leichte Höhenabhängigkeit der sommerlichen Niederschläge, die im April, Mai und Juli mit einer erklärten Varianz von 64 %, 39 % bzw. 38 % am stärksten ausgeprägt ist. Die vergleichsweise geringen Werte, die vor allem im Juni (7 %), August (14 %) und September (7 %) zu beobachten sind, deuten jedoch auf eine stark zufallsgesteuerte, sommerlich-konvektive Niederschlagsverteilung hin. Die Abhängigkeit vom Rechts- bzw. Hochwert erreicht im Sommerhalbjahr mit einer erklärten Varianz 70 % im Juli bzw. 40 % im Mai ihr Maximum. Zumeist liegen die entsprechenden Werte jedoch deutlich unter 40 %. Im Winter sind die regionalen Niederschlagsunterschiede wesentlich geringer. Dennoch wird von November bis März eine mittlere Standardabweichung zwischen den einzelnen Stationen des gesamten Messnetzes von 11,1 mm und ein Variationskoeffizient von 19,1 % erreicht. Während die mittlere Abweichung im November nur 5,6 mm bzw. 13,5 % beträgt sind die Differenzen im ersten Quartal des Jahres relativ hoch, erreichen jedoch trotz eines Maximums von 17,1 mm bzw. 24,8 % im Januar nicht das sommerliche Niveau (vgl. Abb. 10). Gleichzeitig ist zwischen Januar und März praktisch keine Höhenabhängigkeit der Niederschläge zu beobachten - die erklärte Varianz erreicht maximal 2 %. Vielmehr findet eine auffällige regionale Differenzierung statt, mit der ein Nordwest-Südost-Gefälle der Niederschlagsverteilung einhergeht. So ergibt sich bezüglich des Rechts- bzw. Hochwerts eine erklärte Varianz von bis zu 57 % im Dezember bzw. 49 % im März.

Ursache hierfür sind die im Winterhalbjahr vorherrschenden zyklonal-adektiven Niederschläge (vgl. Abb. 11). Diese werden durch Staueffekte des Schwarzwaldes verstärkt, die sich über die Luvseite hinaus bis in den Bereich der östlichen Abdachungsfläche bemerkbar machen. Mit zunehmender Entfernung vom Schwarzwaldhauptkamm nach Osten gewinnen jedoch die Leeeffekte an Bedeutung - ein Rückgang der winterlichen Niederschläge ist die Folge. So wird der Nordwesten des Untersuchungsgebiets im Bereich der Stationen Königsfeld und Villingen 1 weitaus stärker von den Stauniederschlägen beeinflusst als die südlicheren und östlicheren Regionen. Durch die weitgehend abgeregneten Luftmassen macht sich auch der Anstieg der Albhochfläche kaum in einer Zunahme der Niederschläge durch erneute Staueffekte bemerkbar, wie dies die vergleichsweise geringen winterlichen Niederschlagsmengen an den Standorten Klippeneck und Öfingen verdeutlichen. An der Station Spaichungen tragen durch ihre Lage im Prinntal bedingte lokale Leeeffekte zu einem zusätzlichen Rückgang der Niederschlagsmengen bei.

Im Durchschnitt des zweijährigen Beobachtungszeitraums verzeichnen die Stationen des Messnetzes 897,4 mm Niederschlag. Bei einer Standardabweichung von 83,9 mm und einem Variationskoeffizienten von 9,3 % reicht die Spanne der einzelnen Werte dabei von 793,8 mm in Heidenhofen bis

1058,9 mm auf dem Klippeneck. Aus diesem Grund zeigt sich bei den mittleren Jahressummen mit einer erklärten Varianz von 72 % auch eine relativ starke Abhängigkeit vom Hochwert - die Folge eines Nord-Süd-Gefälles der Niederschlagsmengen. Mit einer erklärten Varianz von 25 % bzw. 4 % ist der Zusammenhang mit der Höhe bzw. dem Rechtswert weit weniger stark ausgebildet.

Auch bei den Niederschlägen zeigen sich - ähnlich wie bei der Temperatur - zeitliche und jahreszeitliche Veränderungen seit dem Ende des vergangenen Jahrhunderts. Eine der längsten Niederschlagsreihen auf der Baar steht dabei von der Station Donaueschingen zur Verfügung. Sie reicht bis 1891 zurück. Die Abb. 12 zeigt den Verlauf der jährlichen Niederschlagsmengen der Station Donaueschingen. Zusätzlich sind jeweils die Werte der 10- und 30-jährigen Gauß'schen Tiefpassfilterung sowie die lineare und quadratische Regressionskurve dargestellt. Durch die Schraffur zwischen der 30-jährigen Gauß'schen Tiefpassfilterung und dem langjährigen Mittelwert der Niederschläge, der als waagrechte Linie eingezeichnet ist, heben sich feuchtere und trockenere Perioden deutlicher voneinander ab.

Auf der Basis einer linearen Regression ist eine deutliche Zunahme der Niederschläge zu beobachten. So beträgt der Niederschlagszuwachs zwischen 1891 und 1990 an der Station Donaueschingen 133,4 mm (vgl. Abb. 12). Dabei vollzog sich dieser positive Trend naturgemäß nicht kontinuierlich, sondern feuchtere und trockenere Perioden lösten einander ab. Im Vergleich zum Mittelwert der gesamten Beobachtungsperiode, der in Donaueschingen 765,3 mm beträgt, war der Zeitraum von Beginn der Beobachtungsreihe bis etwa 1912 durch eine anhaltende und vergleichsweise starke Trockenperiode gekennzeichnet. In diesem Zeitraum wurden im Mittel (10- und 30-jährige Gauß'sche Tiefpassfilterung) die geringsten jährlichen Niederschlagsmengen der gesamten Reihe registriert, auch wenn im weiteren Verlauf in einzelnen Jahren noch erheblich geringere Werte gemessen wurden. Zwischen 1912 und dem Anfang der dreißiger Jahre bewegten sich die Niederschlagsmengen in etwa auf dem Durchschnittsniveau zwischen 1891 und 1990. Die interannualen Schwankungen waren dabei zum Teil aber erheblich, glichen sich aber in der Regel relativ kurzfristig wieder aus, so dass allenfalls die 10-jährige Gauß'sche Tiefpassfilterung auf kurzfristige positive oder negative Fluktuationen des Niederschlags hindeutet.

Während sich in der zweiten Hälfte der dreißiger Jahre eine etwas feuchtere Periode andeutet, die vor allem durch die beiden besonders regenreichen Jahre 1939 - es war mit 1.164,0 mm das niederschlagsreichste der gesamten Datenreihe - und 1940 verursacht wurde, zeichnet sich der Zeitraum zwischen 1945 und dem Ende der fünfziger Jahre durch eine stärkere Trockenheit aus. In diese Epoche fällt auch das Jahr mit der geringsten jährlichen Niederschlagsmenge zwischen 1891 und 1990, wurden doch 1949 nur 515,4 mm registriert. Ab 1960

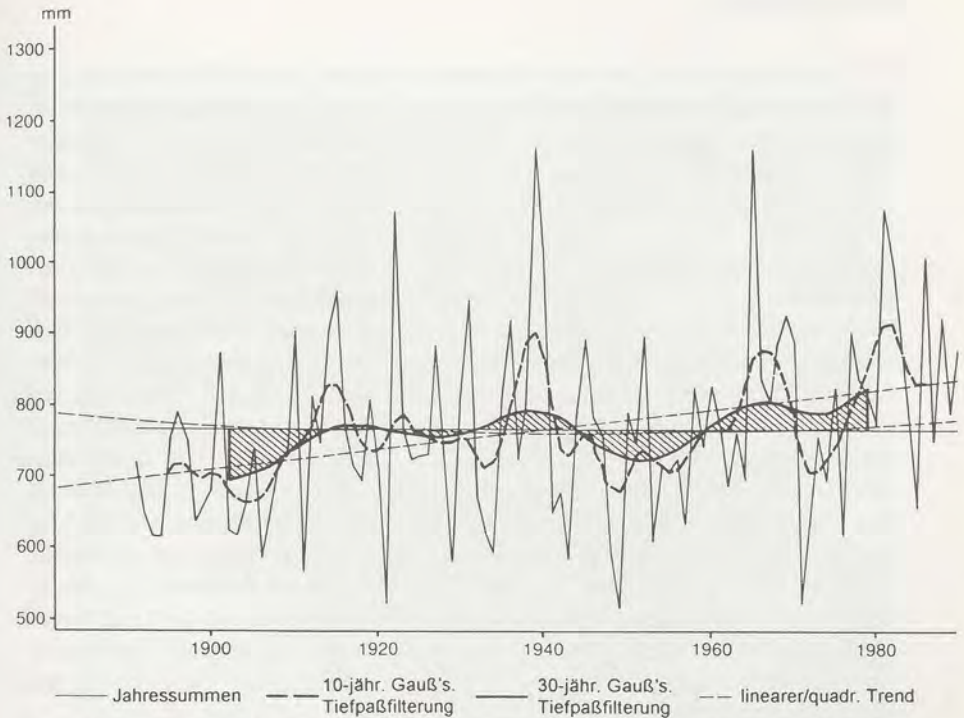


Abb. 12: Verlauf der jährlichen Niederschlagssummen, der Werte der 10- und 30-jährigen Gauß'schen Tiefpassfilterung sowie des linearen und quadratischen Trends an der Klimastation Donauessingen von 1891-1990 (Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst)

stellte sich eine überdurchschnittlich feuchte Periode ein, die bis zum Ende der Zeitreihe anhält.

Auf der Grundlage dieser Entwicklung ergibt sich für die Station Donauessingen bei einer Standardabweichung der Niederschläge von 134,03 mm ein Trend-Rausch-Verhältnis (Quotient aus dem linearen Trend und der Standardabweichung) von knapp 1,0. Dies entspricht einem Signifikanzniveau der Niederschlagszunahme von nur 68 %. Eine ähnlich geringe Signifikanz des Trends deutet auch der Korrelationskoeffizient zwischen den jährlichen Niederschlagssummen und der Jahreszahl von 0,29 an.

Die Abb. 13 stellt die Niederschlagsentwicklung an der Klimastation Donauessingen von 1891-1990 in jahreszeitlicher Differenzierung dar. Sie wurde auf die gleiche Weise mit dem Programm SURFER generiert, wie die entsprechende Darstellung der Temperaturzeitreihe in Abb. 9. Die Grafik verdeutlicht den

Niederschlagszuwachs, der in der Zeitreihe vor allem in den Wintermonaten zu beobachten ist. So nehmen am linken (Januar und Februar) und rechten Bildrand (November und Dezember) die blau eingefärbten Flächen, die Niederschlagsmengen über 60 mm kennzeichnen, immer mehr zu. Seit 1960 wird dies besonders deutlich. Parallel hierzu geht die Häufigkeit trockener Zeiträume mit unter 40 mm Niederschlag, die bis etwa zur Mitte dieses Jahrhunderts insbesondere im ausgehenden Winter und Frühling auftraten, deutlich zurück. Darüber hinaus treten die rückläufigen Niederschlagsmengen der vergangenen 40 bis 50 Jahre zwischen Juli und September in Erscheinung. Neben diesen allgemeinen Entwicklungstendenzen gehen aus der Darstellung aber auch die erheblichen interannuellen Schwankungen der Niederschläge hervor. Gerade in den Sommermonaten spiegelt sich dies durch das phasenweise Auftreten feuchterer und trockenerer Perioden im Laufe der Zeitreihe sehr eindrücklich wider. Darüber hinaus hebt die Abb. 13 auch die relativ starke hygrische Kontinentalität des Klimas auf der Baar hervor, die durch ein ausgeprägtes sommerliches Maximum der Niederschläge gekennzeichnet ist. Dabei kommt selbst die leichte Zweigipfligkeit der Niederschlagsmaxima im Sommer zum Ausdruck, die in der jüngeren Vergangenheit zu beobachten ist. Sie hat erst seit etwa 1940 eingesetzt. Insgesamt stellt sich die Niederschlagsentwicklung an der Klimastation Donaueschingen jedoch erwartungsgemäß weitaus heterogener dar, als die der Durchschnittstemperaturen (vgl. Abb. 9).

4. Entwurf regionaler Klimakarten

Die klimatischen Gegebenheiten eines Raumes werden in erster Linie von überregionalen Faktoren wie der geographischen Breite, der Land-See-Verteilung und der Lage im Einflussbereich der einzelnen Glieder der atmosphärischen Zirkulation gesteuert. Auf der Basis des sich dadurch ausbildenden allgemeinen Klimacharakters, der durch eine bestimmte Klimazone oder einen Klimatyp definiert werden kann, findet jedoch auf regionaler Ebene eine weitere klimatische Differenzierung statt. Diese geht mit der unterschiedlichen Ausprägung verschiedener naturräumlicher Klimafaktoren einzelner Regionen einher. Dabei kommt insbesondere der Höhenlage, der Luv- oder Leelage zu benachbarten Gebirgen, der Exposition und Hangneigung sowie verschiedenen Landnutzungs- und Vegetationstypen eine wichtige Bedeutung zu. Sie prägen in entscheidendem Maße den regionalklimatischen Charakter eines Raumes.

Die Abb. 14 zeigt den strukturellen Aufbau und das methodische Ablaufschema der auf dieser Grundlage entwickelten regionalen Klimamodelle für die Baar. Ausgangspunkt aller Berechnungen sind die Mittelwerte der an den verschiedenen Standorten des stationären und temporären Messnetzes während des Zeitraums von Juli 1994 bis Juni 1996 gewonnenen Daten. Diese werden mit

Jahr

1990

1980

1970

1960

1950

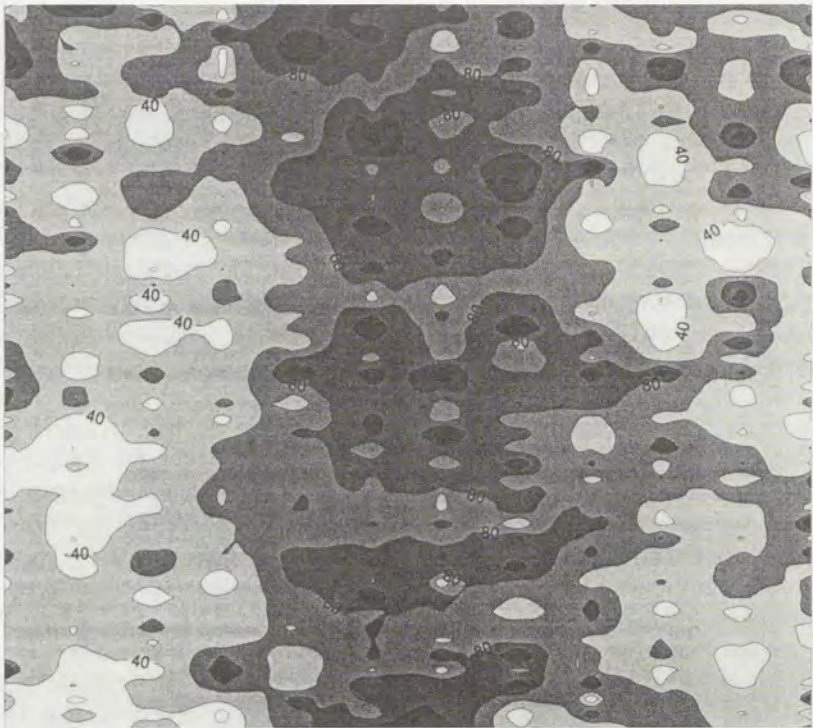
1940

1930

1920

1910

1900



Jan. Feb. Mrz. Apr. Mai Jun. Jul. Aug. Sep. Okt. Nov. Dez.

M o n a t

Abb. 13: Darstellung der jahreszeitlich differenzierten Niederschlagsentwicklung an der Klimastation Donaueschingen von 1891-1990 (Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Deutscher Wetterdienst)

Hilfe eines Regressionsansatzes quantitativ mit den Klimafaktoren in Beziehung gesetzt, die die jeweiligen klimatischen Gegebenheiten einzelner Standorte im wesentlichen steuern. Hierbei finden als Parameter die Höhenlage, die Hangneigung, die Exposition, der Rechts- und Hochwert sowie verschiedene Landnutzungs- und Vegetationstypen Anwendung. Dabei kommt den einzelnen Faktoren bei der Regressionsanalyse in Abhängigkeit vom jeweiligen Klimaelement und der Jahreszeit eine sehr unterschiedliche Gewichtung zu. Mitunter

finden einzelne Parameter bei der Generierung bestimmter Klimakarten überhaupt keine Berücksichtigung.

Wie die Abb. 14 verdeutlicht, basieren die Regressionsberechnungen auf den Daten des Klimamessnetzes als abhängige Variable und der Ausprägung der verschiedenen Klimafaktoren wie der Höhe, Hangneigung, etc. an den einzelnen Stationen bzw. deren unmittelbaren Umfeld als unabhängige Variablen. Auf ihrer Grundlage wurden mit Hilfe des Statistik- und Analyseprogramms SPSS entsprechende Regressionsanalysen durchgeführt. Dort werden für die einzelnen Klimaelemente in jahreszeitlicher Auflösung (Monate, klimatologische Jahreszeiten, hydrologische Halbjahre, Jahr) die jeweiligen Regressionsgleichungen berechnet. Diese basieren auf einer linearen multiplen schrittweisen Regression. Dabei werden die entsprechenden Regressionskoeffizienten (y -Achsenabschnitt, Neigung) mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate ermittelt, wobei die erklärenden (unabhängigen) Variablen schrittweise in die Berechnungen einbezogen werden. Dadurch fließen nur die Parameter in die Regressionsgleichung ein, die die erklärte Varianz als Maß für die Stärke des Zusammenhangs zwischen der unabhängigen und der/den abhängigen Variablen signifikant erhöhen (vgl. BAHRENBERG, GIESE, NIPPER (1990), BAHRENBERG, GIESE, NIPPER (1992) und SCHÖNWIESE (1992))

Die mit der Kaltluftseenbildung über der Baar einhergehenden Temperaturinversionen machen sich bei der Karte der mittleren jährlichen Zahl der Frosttage des Zeitraums von Juli 1994 bis Juni 1996 deutlich bemerkbar. Sie sind durch tägliche Temperaturminima am oder unter dem Gefrierpunkt gekennzeichnet. Trotz der mit den Inversionen verbundenen differenzierten Höhengradienten, lässt sich auf der Basis der unabhängigen Variablen Höhe, Rechtswert und Hochwert ein statistisch hinreichend signifikanter Zusammenhang zur Zahl der Frosttage ableiten. Der entsprechende Regressionsansatz weist eine erklärte Varianz von 62 % und eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 2,7 % auf - beides lässt auf eine vergleichsweise hohe statistische Signifikanz des Modells schließen. Der Höhe kommt bei dem Ansatz die bei weitem wichtigste Bedeutung für die Erklärung des räumlichen Verteilungsmusters der Werte an den verschiedenen Stationsstandorten zu. Dabei nimmt die Zahl der Frosttage im Gegensatz zu den Eistagen mit wachsender Höhe ab. In der Gewichtung innerhalb des Regressionsmodells folgen der Rechts- und Hochwert, wobei die Werte von West nach Ost und von Süd nach Nord zunehmen.

Die Abb. 15 zeigt die auf dieser Grundlage generierte Karte der mittleren Zahl der Frosttage im Untersuchungsgebiet pro Jahr. Die geringste Frosthäufigkeit ist demnach im Bereich der höheren Lagen der Schwarzwaldostabdachung zu verzeichnen. Dort treten verbreitet 60-90 Frosttage pro Jahr auf. Vergleichsweise wenige Frosttage weisen mit Werten zwischen 90 und 110 Tagen auch die

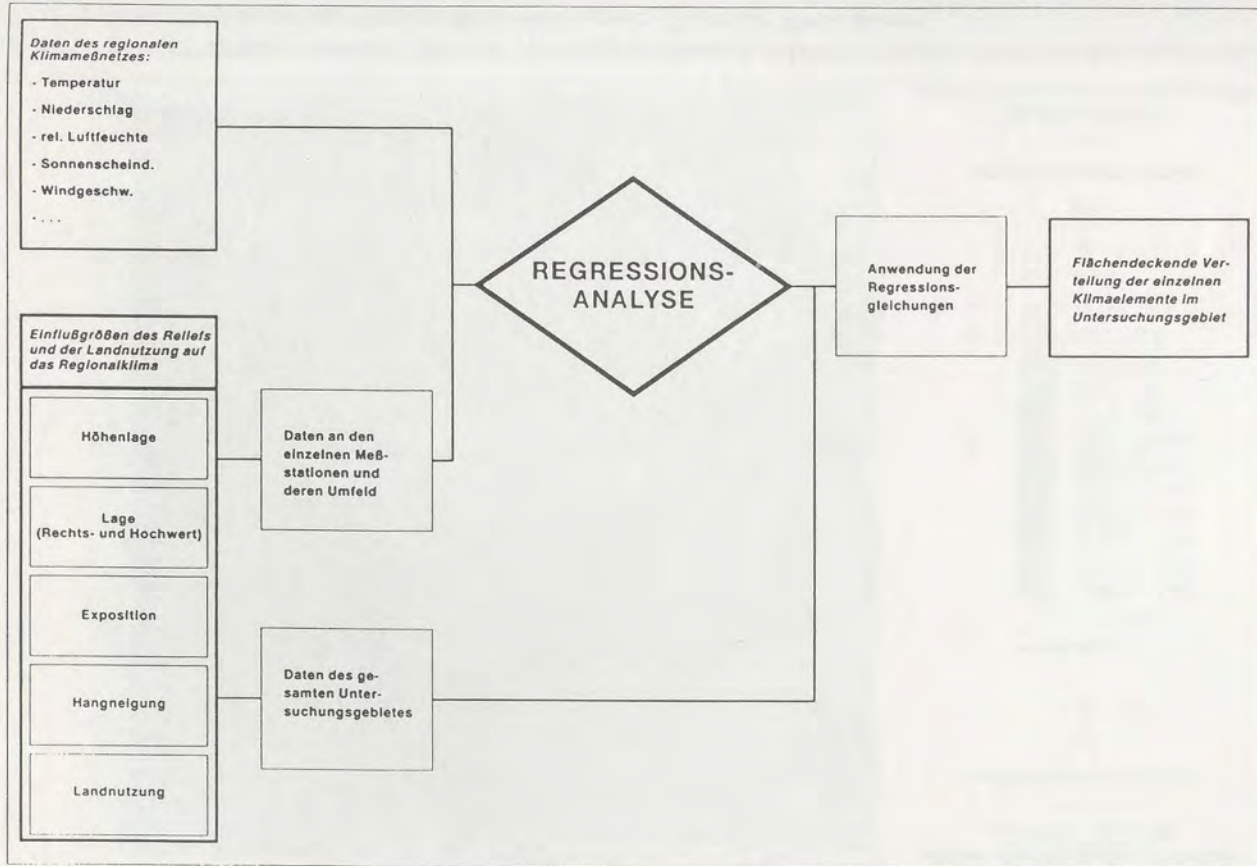


Abb. 14: Schematischer Ablauf der Generierung flächendeckender regionalklimatischer Karten für die Baar aus den Daten des stationären und temporären Klimamessnetzes mit Hilfe statistischer Methoden (Quelle: Eig. Entwurf)

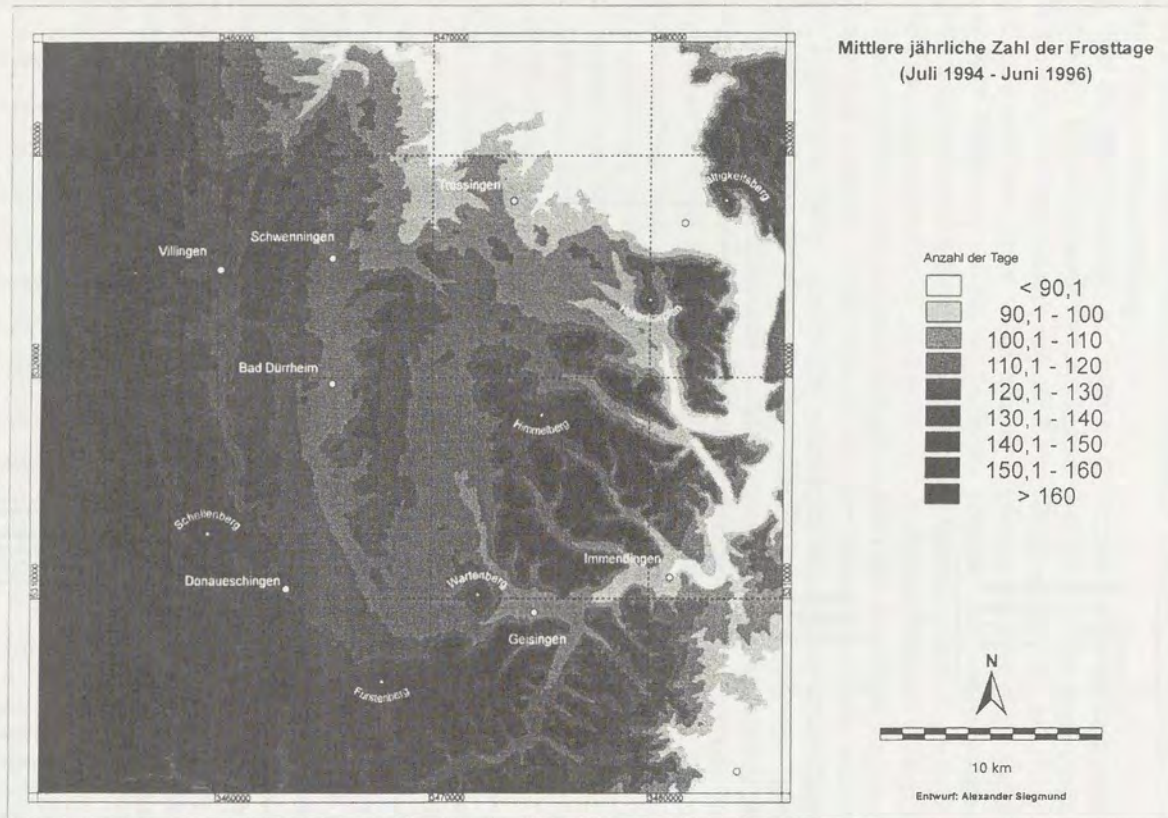


Abb. 15: Mittlere jährliche Zahl der Frosttage im Zeitraum Juli 1994 bis Juni 1996 (Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Regionales Klimamessnetz, Deutscher Wetterdienst)

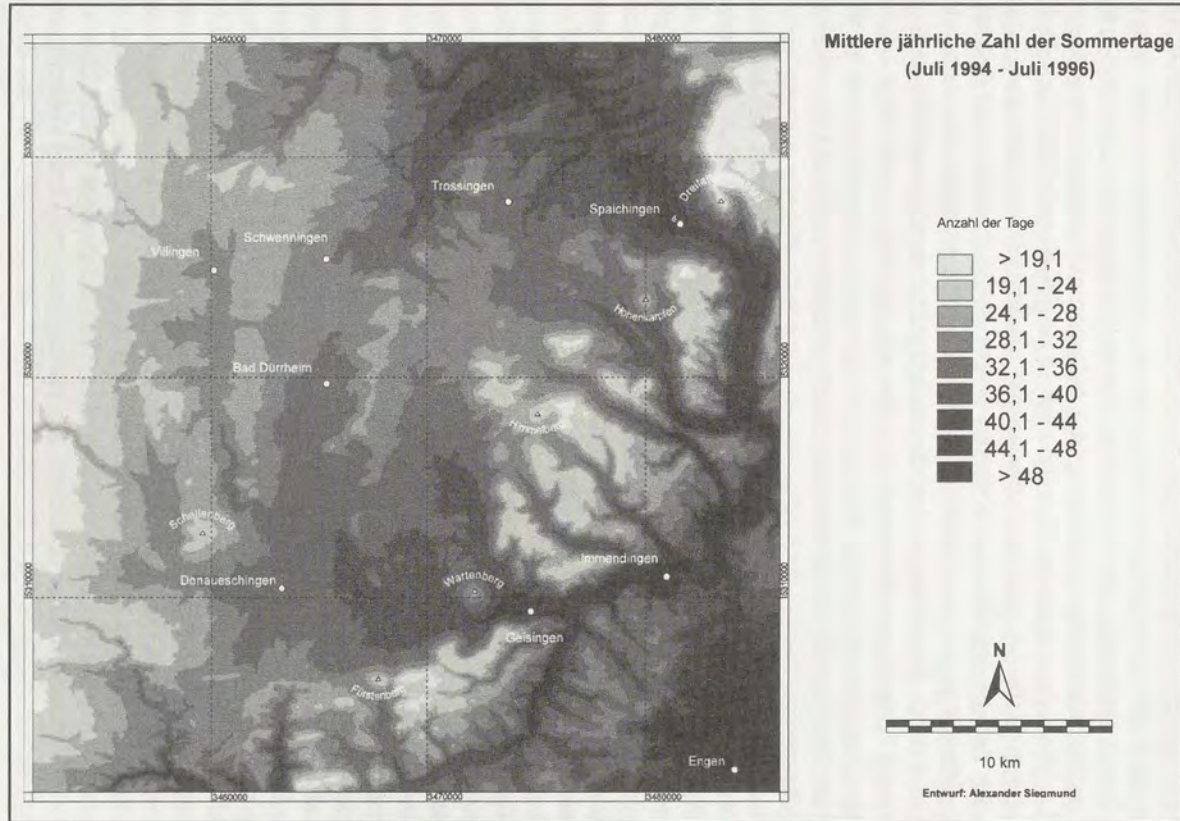


Abb. 16: Mittlere jährliche Zahl der Sommertage im Zeitraum Juli 1994 bis Juni 1996 (Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Regionales Klimamessnetz; Deutscher Wetterdienst)

Hochflächen der Hohen (Schwaben)-Alb und der Baaralb auf. Dabei deutet sich im Bereich der Albhochflächen eine größere Frosthäufigkeit an als in vergleichbaren Höhenlagen im Westen des Untersuchungsgebiets. Ursache hierfür sind die mit wachsender Entfernung vom Schwarzwaldhauptkamm zunehmenden Leeeffekte, mit denen ein Bewölkungsrückgang einhergeht. Im Winterhalbjahr treten diese aufgrund der vorwiegend zonalen Zirkulationsbedingungen und der damit verbundenen advektiven Niederschläge besonders in Erscheinung. Mit der geringeren Bewölkung geht eine stärkere nächtliche Ausstrahlung und damit Abkühlung einher, die auch tagsüber durch die relativ geringe maximale Sonnenscheindauer nur teilweise ausgeglichen werden kann - eine erhöhte Frosthäufigkeit ist die Folge. Mit abnehmender Geländehöhe wächst die Zahl der Frosttage an. Im Bereich der Baar-Niederungen werden 110-130 Tage pro Jahr erreicht.

Eine noch höhere Frosthäufigkeit von teilweise über 180 Tagen pro Jahr verzeichnet die Karte aufgrund der geringeren Höhenlage und dem Ost-West-Gefälle der Werte jedoch im Neckartal und im Hegau. Dies verdeutlicht die Probleme, die mit dem Regressionsansatz der mittleren Zahl der Frosttage pro Jahr einhergehen, obwohl die erklärte Varianz des Modells vergleichsweise hoch, die Irrtumswahrscheinlichkeit recht gering ist. Trotz der tieferen Lage können sich Kaltluftmassen im Bereich des Neckartales und im Hegau in Wirklichkeit in weitaus geringerem Maße stauen, als in der Baarhochmulde. Durch das Geländegefälle fließt die Kaltluft dort vielmehr in noch tiefer gelegene Regionen ab, so dass die Frosthäufigkeit deutlich geringer ist, als in der Klimakarte dargestellt. Dies zeigt einmal mehr nicht nur die Notwendigkeit statistischer Regressionsanalysen, sondern auch eingehender Plausibilitätsprüfungen der hiervon abgeleiteten regionalen Klimamodelle und entsprechender Karten. Insgesamt werden im Untersuchungsgebiet auf der Basis des Modellansatzes im Mittel 126,5 Frosttage pro Jahr verzeichnet. Bei einer Spanne der Werte von 58,8-189,9 Tagen ergibt sich dabei eine Standardabweichung von 28,74 Tagen.

Wesentlich signifikantere Ergebnisse als bei der Zahl der Frosttage ergeben sich bei der Häufigkeit von Sommertagen auf der Baar. Sie sind durch tägliche Temperaturmaxima von mindestens 25 °C definiert. So geht aus dem optimierten Modellansatz für die durchschnittliche Zahl der Sommertage im Zeitraum von Juli 1994 bis Juni 1996 eine erklärte Varianz von 94 % hervor. Mit <0,1 % ist gleichzeitig die Irrtumswahrscheinlichkeit bezüglich eines angenommenen linearen Zusammenhangs zwischen der abhängigen und den unabhängigen Variablen äußerst gering. Sie liegt damit deutlich unter ein Prozent was einem 99-prozentigen Signifikanzniveau entspricht. In den entsprechenden Regressionsansatz fließen als naturräumliche Faktoren die Höhe, der Rechts- und Hochwert sowie der Cosinus der Exposition ein. Darüber hinaus findet auch der

prozentuale Flächenanteil des Landnutzungstyps der Siedlungen Eingang in das Modell. Dies verdeutlicht den anthropogenen Klimaeinfluss, der sich selbst auf regionaler Ebene bemerkbar macht. Dabei wird das Temperaturniveau im Einflussbereich städtischer Baukörper durch die damit typischerweise verbundenen Wärmeinseleffekte angehoben - eine größere Zahl von Tagen mit Höchsttemperaturen von mindestens 25 °C ist die Folge. Dennoch kommt bei der Erklärung der räumlichen Verteilung der Werte an den einzelnen Stationen im Rahmen des Regressionsmodells der Höhenlage die bei weitem wichtigste Bedeutung zu, wobei die Werte naturgemäß mit zunehmender Höhe abnehmen.

Die Abb. 16 zeigt die auf dieser Grundlage ermittelte räumliche Verteilung der durchschnittlichen Zahl der Sommertage pro Jahr im Untersuchungsgebiet. Die Höhenabhängigkeit tritt dabei deutlich in Erscheinung. Die geringste Häufigkeit an Sommertagen wird mit teilweise unter 13 Tagen pro Jahr in den höheren Lagen der Schwarzwaldostabdachung verzeichnet. Die Werte sind dort trotz der etwas geringeren Höhenlage kleiner als im Bereich der Albhochfläche und den Hochlagen der Hohen (Schwaben)-Alb und Baaralb, wo verbreitet 13-21 Tage auftreten - eine Folge der geringeren Erwärmung der Luft über den zumeist dicht bewaldeten und steilen, beschatteten Hängen. Zu den Niederungen der Baarhochmulde hin nimmt die Zahl der Sommertage zu. Sie erreicht hier verbreitet Werte von 33-37 Tagen pro Jahr. Im Neckartal ist die Zahl der Sommertage mit teilweise über 41 Tagen pro Jahr etwas höher. Die größte Zahl an Sommertagen weisen jedoch aufgrund ihrer geringen Höhenlage die Ausläufer des Hegaus auf, wo verbreitet über 50 Tage pro Jahr verzeichnet werden. Darüber hinaus wird der thermische Einfluss der städtischen Baukörper durch eine räumlich begrenzte Zunahme der Werte sichtbar. Im Bereich von Villingen, Schwenningen, Trossingen, Spaichingen, dem Städtedreieck Donaueschingen-Hüfingen-Bräunlingen sowie bei den Gemeinden entlang des Donautales (Geisingen, Immendingen, Möhringen) wird dies besonders deutlich. Dort sind die Werte um teilweise bis zu 12 Tage pro Jahr höher als in ihrem unmittelbaren Umland. Durch das mit der geringen Höhenlage verbundene hohe Ausgangsniveau im Hegau weist das Stadtgebiet von Engen im äußersten Südosten des Kartenausschnitts mit mehr als 60 Tagen die größte Häufigkeit an Sommertagen pro Jahr auf. Insgesamt reicht die Spanne der Werte im Untersuchungsgebiet von 9,0 Tagen bis zu 69,1 Tagen mit Höchsttemperaturen von mindestens 25 °C. Bei einem Mittel von 31,5 Tagen erreicht die Standardabweichung dabei 9,63 Tage.

Schwieriger stellt sich der Aufbau entsprechender Regressionsmodelle für die Niederschläge dar. In den Sommermonaten Juni bis August wird dies besonders deutlich. Die erklärten Varianzen in bezug auf die Abhängigkeit der Werte von der Höhe sowie vom Rechts- und Hochwert zeigten sich in diesem

Zeitraum bereits bei der Analyse der Jahresgänge zumeist als sehr gering. Ursache hierfür ist das mit den vorwiegend konvektiven Niederschlägen verbundene heterogene räumliche Verteilungsmuster, das sich angesichts des nur vergleichsweise kurzen zweijährigen Beobachtungszeitraums ergibt. So geht aus der Regressionsanalyse unter Berücksichtigung der Parameter Höhe, Rechtswert, Hochwert sowie Cosinus und Sinus der Exposition zwar eine erklärte Varianz von 85 % und eine Irrtumswahrscheinlichkeit von nur 0,1 % hervor. Die auf dieser Grundlage generierte Niederschlagskarte hält durch den überproportionalen Einfluss des Rechts- und Hochwerts einer entsprechenden Plausibilitätsprüfung durch ein äußerst unnatürliches Steifenmuster nicht Stand. Aus diesem Grund fand bei der Berechnung der in Abb. 17 dargestellten Karte neben den Parametern Höhe und Cosinus der Exposition nur der Rechtswert Berücksichtigung, dem im ursprünglichen Regressionsmodell ein größerer Erklärungsbeitrag für die räumliche Niederschlagsverteilung zukommt, als dem Hochwert. In dem modifizierten Ansatz weist der Rechtswert und die Höhe das größte Gewicht auf. Die erklärte Varianz beträgt dabei 64 % und die Irrtumswahrscheinlichkeit 0,6 %, die damit sogar deutlich unter dem kritischen Schwellenwert von 1 % liegt.

Abb. 17 zeigt die auf dieser Basis für den Sommer ermittelte Niederschlagsverteilung im Untersuchungsgebiet. Daraus geht die Abhängigkeit der Werte von der Höhe und das allgemeine Ost-West-Gefälle deutlich hervor. Aus diesem Grund verzeichnet die Albhochfläche mit teilweise über 400 mm die größten sommerlichen Niederschlagsmengen. Auch die sich in Richtung Süden bis Südwesten anschließenden Hochlagen der Baaralb weisen mit 350-380 mm relativ hohe Werte auf. In Richtung Westen nehmen die Niederschläge ab. Die zentralen Bereiche der Baarhochmulde verzeichnen zumeist zwischen 270 und 300 mm. Die tiefsten Werte mit teilweise unter 230 mm finden sich jedoch entlang des Bregtales sowie in der Wutachschlucht und ihren Nebenarmen. Insgesamt ergibt sich im Untersuchungsgebiet in den Sommermonaten eine mittlere Niederschlagshöhe von 302,7 mm. Bei einer Standardabweichung von 45,41 mm wird der Höchstwert mit 418,0 mm verzeichnet, der tiefste mit 218,0 mm.

Im Herbst zeigt sich ein ähnliches Problem wie in den Sommermonaten. Zwischen September und November stellt sich auf der Baar eine solch heterogene Niederschlagsverteilung ein, dass das Regressionsmodell selbst unter Einbeziehung aller fünf oben genannten Parameter (Höhe, Rechtswert, Hochwert, Cosinus und Sinus der Exposition) nur eine erklärte Varianz von 62 % sowie eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5,4 % und damit leicht über dem Schwellenwert von 5 % ergibt. Dabei kommt dem Hochwert und dem Cosinus der Exposition die wichtigste Bedeutung für die Erklärung des räumlichen Nieder-

schlagsmusters zu. Die Modellgüte des Ansatzes ließ sich auch durch andere Variablenkombinationen nicht weiter verbessern. Aus diesem Grund kommt das dargestellte Regressionsmodell trotz der leichten statistischen Vorbehalte hinsichtlich der etwas zu hohen Irrtumswahrscheinlichkeit zur Anwendung.

Die Abb. 18 zeigt die auf dieser Grundlage generierte Karte der mittleren Niederschlagsverteilung im Untersuchungsgebiet während des zweijährigen Beobachtungszeitraums im Herbst. Trotz des starken Gewichts des Hochwerts in dem Ansatz, kommt bei der räumlichen Niederschlagsverteilung auch der Einfluss der Höhenlage und der Expositionsrichtung deutlich zum Ausdruck. Die Niederschläge wachsen dabei mit zunehmender Höhe sowie durch Luveeffekte im Bereich nord- bis westexponierter Geländeabschnitten. Aus diesem Grund verzeichnet die Karte die größten Niederschlagssummen auf der Albhochfläche. Dort werden im Herbst teilweise Werte über 440 mm verzeichnet. Mit 400-420 mm sind die Niederschlagsmengen in den höheren Lagen der Schwarzwaldostabdachung etwas geringer. Mit geringerer Höhenlage nehmen die Werte allmählich ab. Im Zentrum der Baarhochmulde werden verbreitet 320-350 mm verzeichnet. Die geringsten Niederschlagsmengen mit unter 300 mm finden sich im Süden des Untersuchungsgebiets entlang des Wutachtals und im Hegau. Im Durchschnitt werden auf dem dargestellten Kartenausschnitt in den Herbstmonaten 370,0 mm Niederschlag verzeichnet. Die räumlichen Unterschiede reichen dabei von 280,0 mm bis 455,0 mm. Als Standardabweichung ergibt sich ein Wert von 28,36 mm.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die dargestellten Untersuchungen verdeutlichen eindrücklich die besonderen regionalklimatischen Gegebenheiten der Baar. Diese gehen insbesondere aus der typischen jahreszeitlichen Verteilung der verschiedenen thermischen und hygri-schen Parameter hervor, die durch große Jahresamplituden und damit eine ausgeprägte Kontinentalität gekennzeichnet sind. Die damit verbundenen regionalen Verteilungsmuster verschiedener Klimaelemente spiegeln diese Charakteristika sehr deutlich wider. So wird etwa bei der Frosthäufigkeit die starke Höhenabhängigkeit der Werte deutlich, durch die die tiefer gelegenen Regionen der Baar als Folge der Bildung von Kaltluftseen thermisch stärker benachteiligt sind als mittlere und höhere Lagen. Darüber hinaus tritt insbesondere bei der Zahl der Sommertage eine markante Abhängigkeit von unterschiedlichen Landnutzungstypen in Erscheinung, die vor allem durch höhere Werte im Bereich von Siedlungsflächen gekennzeichnet ist. Bei den Niederschlägen werden sowohl bei der jahreszeitlichen Verteilung als auch bei der absoluten Höhe der Werte West-Ost-Gradienten deutlich, die durch den Einfluss des Schwarzwaldes verursacht werden.

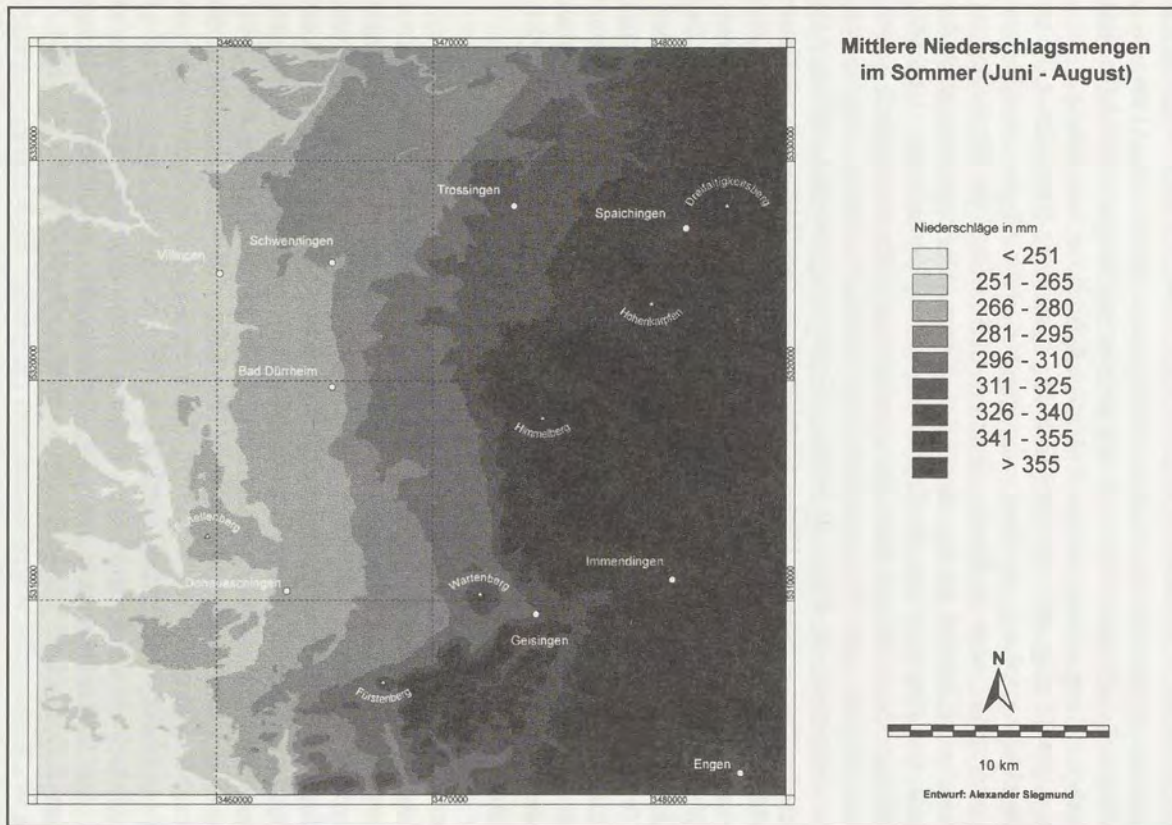


Abb. 17 Mittlere Niederschlagsmengen im Sommer (Juni bis August) im Zeitraum Juli 1994 bis Juni 1996
(Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Regionales Klimamessnetz, Deutscher Wetterdienst)

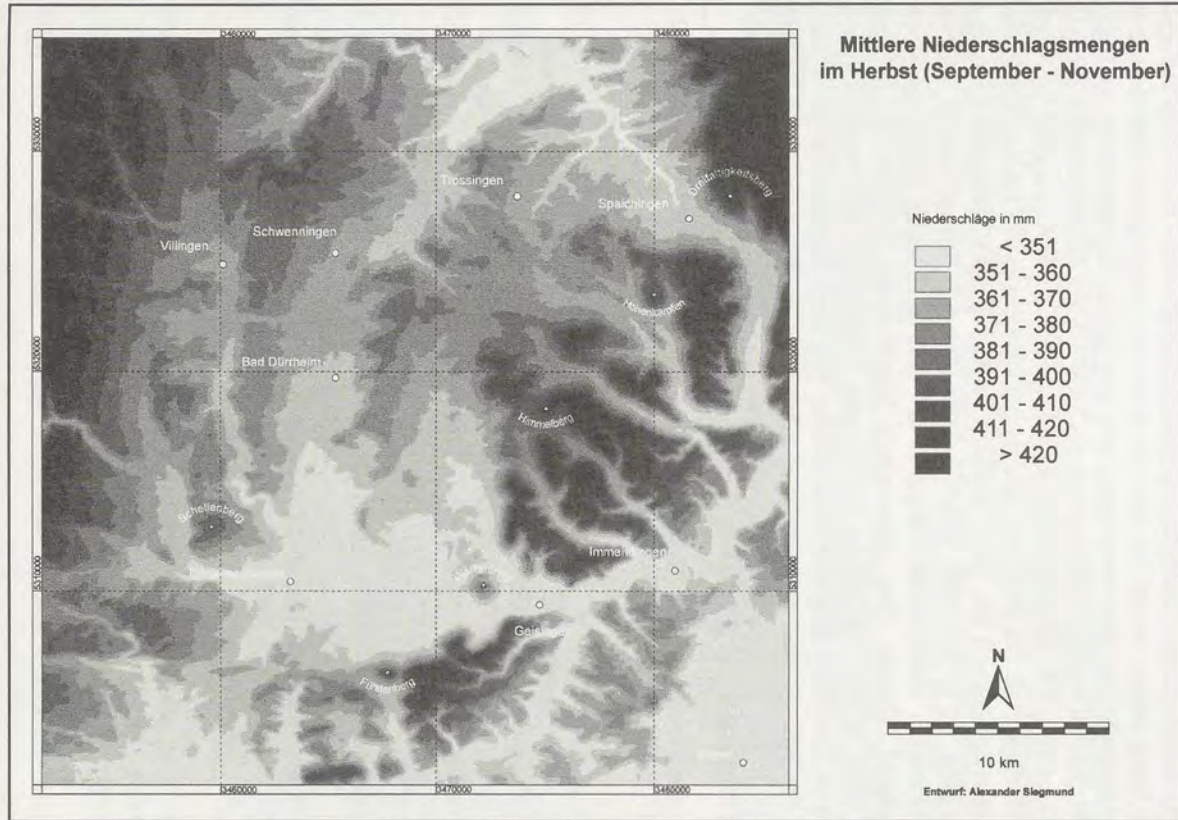


Abb. 18: Mittlere Niederschlagsmengen im Herbst (September bis November) im Zeitraum Juli 1994 bis Juni 1996 (Quelle: Eigener Entwurf, Datengrundlage: Regionales Klimamessnetz, Deutscher Wetterdienst)

Wie entsprechende Zeitreihenanalysen der Temperatur- und Niederschlagsentwicklung zeigen, ist auf der Baar seit Ende des vergangenen Jahrhunderts eine Abschwächung der thermischen und hygrischen Kontinentalität zu beobachten. Sowohl bei den Temperaturen als auch bei den Niederschlägen nahmen die jahreszeitlichen Schwankungen vor allem durch einen Anstieg der Werte im Winterhalbjahr ab. Im Zuge der sich derzeit abzeichnenden Klimaveränderungen ist in der Zukunft mit einem weiteren Rückgang des Kontinentalitätsgrades zu rechnen. Da es sich dabei jedoch um überregionale Effekte handelt, bleiben die regionalen Unterschiede zwischen der Baar und ihren Nachbarregionen weitgehend erhalten. Eine zunehmende Meridionalisierung der Wetterlagen kann sogar zu einer temporären Verstärkung insbesondere der Frostgefährdung beitragen. Um diese mögliche Entwicklung und ihren Einfluss auf den Naturraum der Baar genauer analysieren zu können, sollen die regionalklimatischen Studien in den kommenden Jahren im Rahmen des laufenden Forschungsprojektes fortgesetzt und auf weitere Klimaparameter ausgedehnt werden.

Literaturverzeichnis

- Bahrenberg, G., Giese, E., Nipper, J. (³1990): Statistische Methoden in der Geographie, Bd. 1, univariate und bivariate Statistik, Stuttgart.
- Bahrenberg, G., Giese, E., Nipper, J. (²1992): Statistische Methoden in der Geographie, Bd. 2, multivariate Statistik, Stuttgart.
- Banse, H. (1984): Die Baar, Eine neue Deutung des Landschaftsnamens. In: Schriften des Vereins für Geschichte und Naturgeschichte der Baar, Bd. 35, Donaueschingen, S. 17-25.
- Frankenbeg, P., Siegmund, A. (1997): Gedanken zum irdischen Klimawandel - der anthropogene Treibhauseffekt und seine möglichen Folgen. In: Geoökodynamik, Bd. 18, H. 1, S. 17-39.
- Klaus, D., Laufersweiler, M., Siegmund, A. (1997): Angewandte Stadtklimatologie im ländlichen Raum - Das Beispiel Donaueschingen. In: Standort, Zeitschrift für Angewandte Geographie, 21. Jg., H. 4, S. 9-16.
- Plaetschke, J. (1953): Taupunkt und Vorhersage der Temperaturminima nach Strahlungsnächten. In: Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes, H. 5, Bad Kissingen, S. 3-15.
- Reichelt, G. (1972): Die natürlichen Landschaften. In: G. Reichelt (Hrsg.): Die Baar, Wanderungen durch Landschaft und Kultur, Villingen, S. 7-24.
- Reichelt, G. (1972): Die Vegetation. In: G. Reichelt (Hrsg.): Die Baar, Wanderungen durch Landschaft und Natur, Villingen, S. 68-85.
- Reichelt, G. (Hrsg.) (1972): Die Baar, Wanderungen durch Landschaft und Kultur, Villingen.
- Schönwiese, C.-D. (1992): Klima im Wandel, Stuttgart.
- Schönwiese, C.-D. (²1992): Praktische Statistik für Meteorologen und Geowissenschaftler, Berlin, Stuttgart.
- Siegmund, A. (1998): Die Temperaturentwicklung auf der Baar seit Beginn kontinuierlicher Klimaaufzeichnungen. In: Schriften des Vereins für Geschichte und Naturgeschichte der Baar, Bd. 41, Donaueschingen, S. 126-145.
- Siegmund, A., Neff, Ch. (1995): Die Atmosphäre und das Klima. In: P. Frankenberger, J. Grau, J. H. Reicholf (Hrsg.): Die große Bertelsmann Lexikothek Naturenzyklopädie der Welt, Bd. 18, Entstehungsgeschichte - Geologie - Atmosphäre, München, S. 162-259.
- Vogt, J., Laufersweiler, M., Siegmund, A. (1997): Das Stadtklima von Donaueschingen - Ergebnisse klimatologischer Felduntersuchungen unter besonderer Berücksichtigung von Luftaustauschprozessen. In: Schriften des Vereins für Geschichte und Naturgeschichte der Baar, Bd. 40, Donaueschingen, S. 37-60.

Wagner, M. (1964): Die Niederschlagsverhältnisse in Baden-Württemberg im Lichte der dynamischen Klimatologie, Forschungen zur deutschen Landeskunde, Bd. 135, Bad Godesberg.