

Stadtklima Speyer

TEXT

Impressum:

Erstellt durch:
**Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht
Rheinland – Pfalz
in Zusammenarbeit mit der Stadt Speyer**

2000, unveröffentlicht

Überarbeitet und veröffentlicht durch:
**Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht
Rheinland – Pfalz**

© 2013

Kartengrundlage:
Rasterdaten der Amtlichen Topographischen Karte
TK6616 und TK6716, Stand: 1998
Datenquelle: Geobasisinformation der Vermessungs- und Katasterverwaltung Rheinland-Pfalz

Stadtklima Speyer

Inhalt

1	Stadtklimagutachten - ein Beitrag zur nachhaltigen Stadtentwicklung.....	1
2	Bioklimatische Belastungssituation im Oberrheingraben	3
3	Untersuchungskonzept	5
3.1	Stationäres Klimamessnetz	5
3.2	Klimamessfahrten	10
4	Thermische Verhältnisse im Stadtgebiet Speyer.....	14
4.1	Jahreszeitmittel der Abweichungen der Stationsmitteltemperaturen.....	21
4.2	Stationsdifferenzen bei den absoluten Maximum- und Minimumtemperaturen für einen Sommer- und Wintermonat.....	26
4.3	Mittlere monatliche Tagesgänge und Tagesamplituden für einen Sommer- und Wintermonat	29
4.4	Zusammenfassende Bewertung der thermischen Belastungssituation.....	37
5	Relative Luftfeuchte	38
5.1	Nutzungsabhängiger Tagesgang der Luftfeuchte.....	38
5.2	Jahreszeitliche Verteilung der mittleren relativen Luftfeuchte im Stadtgebiet.....	44
5.3	Zusammenfassende Bewertung der Feuchtesituation	50
6	Klimatologische Schwellwerte	51
6.1	Sommertage und heiße Tage.....	53
6.2	Frost- und Eistage	54
6.3	Stunden mit Schwülebelastung	54
7	Bioklimatische Entlastungsmöglichkeiten	57
7.1	Tagessituation	57
7.2	Nachtsituation	59
8	Räumliche Ausprägung der nächtlichen Wärmeinsel.....	60
8.1	Frühjahrskomposit	60
8.2	Sommerkomposit	62
9	Windverhältnisse	64
9.1	Windrichtungsverteilung.....	65
9.2	Windrichtungsverteilung in den Tag- und Nachtstunden	66
9.3	Windrichtungsverteilung nach Windgeschwindigkeiten	67
9.4	Mittlere Windgeschwindigkeiten.....	68
10	Zusammenfassung der planungsrelevanten Ergebnisse und Hinweise	70

Literatur

Abbildungsverzeichnis

Diagrammverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Verzeichnis der Karten

1 Stadtklimagutachten - ein Beitrag zur nachhaltigen Stadtentwicklung

Die Bevölkerung Deutschlands lebt in ihrer Mehrzahl in einem urbanen Umfeld. Zur Sicherung ihrer Lebensqualität bedarf es einer nachhaltigen Zukunftsentwicklung der Städte. Dies beinhaltet auch die Berücksichtigung klimatischer Aspekte. Allerdings kann lokaler Klimaschutz insbesondere in urbanen Gebieten nicht das Festfrieren lokalklimatischer Gegebenheiten bedeuten, zumal in einem alten Kulturland wie Deutschland das Lokalklima seit Jahrhunderten stetigem Wandel unterliegt. Vielmehr muss lokaler Klimaschutz in Städten vor allem unter der Zielsetzung des Erhaltes und der Förderung eines angenehmen und gesunden (Human-) Bioklimas erfolgen.

Wie alles Leben ist auch das menschliche an die meteorologischen Bedingungen seines Lebensraumes angepasst. Je geringer die Anpassungsfähigkeit an eine Klimasituation ist, desto belastender wirken Klimareize auf den Organismus. Folgeerscheinungen sind die Abnahme der Leistungsfähigkeit, des Wohlbefindens, das Auftreten von Stress und Erkrankungen.

Zwar ist das Klimaempfinden jedes Einzelnen subjektiv und die Belastungswirkung individuell in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht, Konstitution und Akklimatisationsgrad verschieden, generell jedoch ist beim menschlichen Organismus der Wärmehaushalt am stärksten betroffen. Die Fähigkeit des menschlichen Körpers zum Wärmeaustausch mit der Umgebungsluft und damit das Wärmeempfinden hängt von der summarischen Wirkung der meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und atmosphärische Strahlung ab. Während auf Kältereize ein Ausgleich durch entsprechende Verhaltensweisen und Kleidung möglich ist, sind die Anpassungsmöglichkeiten bei Wärmebelastung begrenzt.

Eine kritische Wärmebelastung für den Menschen entsteht aus der Kombination folgender Faktoren:

- hohe Lufttemperatur
- Schwüle (zusätzlich hohe Luftfeuchtigkeit)
- starke Solar- und Wärmestrahlung
- Fehlen kühlender Winde
- geringe nächtliche Abkühlung (unzureichende Ventilation und hohe Wärmespeicherung).

Zum Einen ist die Ausprägung dieser Faktoren durch das Regionalklima vorgegeben. Dies stellt die regionale bioklimatische Grundbelastung da. Durch lokale Stadtklimaeffekte wird

diese Belastung jedoch zusätzlich verstärkt. Hier ist es die Aufgabe einer vorsorgenden Stadtplanung durch gezielte Maßnahmen funktionierende klimatische Ausgleichsmechanismen und Entlastungspotentiale zu schützen bzw. zu fördern. Dies setzt allerdings sowohl die Kenntnis der kleinmaßstäblichen Ausprägung und der lokalen Besonderheiten der klimatischen Belastung, wie auch der möglichen und wirksamen Entlastungsmechanismen voraus. Ein modernes Stadtklimagutachten darf sich folglich nicht nur auf die Bestandsaufnahme des Lokalklimas der einzelnen Flächen und ihrer Klimafunktion (Klimatope) beschränken, sondern hat darüber hinaus die Aufgabe die Wirksamkeit und Reichweite von Ausgleichsmechanismen zu benennen, sowie ihre mögliche Einschränkung bzw. Gefährdung durch Nutzungsänderungen abzuschätzen und planerische Hinweise zu geben.

2 Bioklimatische Belastungssituation im Oberrheingraben

Bereits aufgrund der natürlichen Verhältnisse, geprägt durch hohe Sommertemperaturen, hohe Schwülebelastung, häufige Windstille und austauscharme Wetterlagen mit deckenden Inversionen, zählt der Oberrheingraben zu den bioklimatisch am stärksten belasteten Zonen der Bundesrepublik.

Die hohe thermische Belastung dieser Region wird durch die im Rahmen der Thermalkartierung von Rheinland-Pfalz erstellte Karte der Thermischen Belastungsgebiete Rheinland-Pfalz (Karte 2.0) belegt. Deutlich zeigt diese Kartierung, dass in urbanen Gebieten, insbesondere in Ballungs- und Verdichtungsräumen, durch Stadtklimaeffekte die thermische Belastung des Oberrheingrabens zusätzlich verstärkt wird. Während Rheinhessen nutzungs- und siedlungsbedingt fast flächendeckend stark belastet ist und der Großraum Ludwigshafen-Mannheim sogar als extrem belastet eingestuft werden muss, weist der pfälzische Teil des Rheingrabens in der Fläche eine deutlich geringere Belastung auf. Lediglich die Siedlungsbänder treten als thermisch stark belastete Zonen hervor. Grund hierfür ist die positive Wirkung der großräumigen Waldflächen und der naturnahen Rheinauen, die sich beide deutlich als thermisch unbelastete Bereiche hervorheben.

Die Lage von Speyer im Übergangsbereich zwischen der stark thermisch belasteten Region im Norden und dem geringer belasteten Bereich des Oberrheingrabens im Süden belegt die Bedeutung des hohen Waldanteils westlich und nördlich der Stadt, sowie die der nördlich und südlich angrenzenden Auen des Rheines für das Regionalklima von Speyer. Lokalklimatische Effekte und Ausgleichswirkungen entziehen sich allerdings der satellitengestützten Thermalkartierung, die der Karte der Thermischen Belastungsgebiete Rheinland-Pfalz zu Grunde liegt. Das sich deutlich abzeichnende Wärmeband des Stadtgebietes und der extrem belastete Innenstadtkern unterstreichen jedoch die Dringlichkeit, über den Schutz der großräumig wirksamen Entlastungsgebiete, wie dem Nonnenwald und den Rheinauen, hinaus weitere vorhandene lokale Entlastungspotentiale und -mechanismen aufzuspüren und bei der Stadtentwicklung konsequent zu beachten, zu entwickeln und ggf. zu nutzen.

Zusätzlich zum thermischen Stress wirken sich in Speyer lufthygienische Belastungen negativ auf die bioklimatische Situation aus. Grund hierfür ist die kanalisierende Wirkung des Oberrheingrabens, die bewirkt, dass, obwohl örtliche Großemittenten in Speyer fehlen, Luftverunreinigungen aus den nahegelegenen Ballungs- und Verdichtungsräumen von

Ludwigshafen-Mannheim und Karlsruhe mit der Windströmung herangeführt werden und aufgrund häufiger austauscharmer Wetterlagen dort verbleiben.

3 Untersuchungskonzept

Um die bioklimatische Situation in Speyer positiv zu beeinflussen bzw. einer weiteren Verschlechterung entgegenzuwirken, bedarf es einer klimaressourcen-schonenden Stadtentwicklung. Grundlage hierfür ist die Kenntnis der ganzheitlichen Klimadynamik in ihrer räumlichen und zeitlichen Ausprägung. Dies umfasst sowohl die genaue Analyse der Belastungssituation und der möglichen Entlastungsmechanismen, wie auch umfassendes Wissen über vorhandene Entstehungs- und Ausgleichsflächen für Kalt- und Frischluft, Strömungsbahnen und Wege, sowie über die Reichweite und Wechselwirkungen der lokalen Klimasysteme. Die Wirksamkeit, Stärke und Ausprägung der lokalen Klimasysteme ist Wetterlagen abhängig und variiert mit der Jahreszeit und der Änderung der großräumigen Zirkulation.

Dieser räumlichen und zeitlichen Variabilität sowie den z.T. kleinräumigen Strukturen hatte das Untersuchungskonzept Rechnung zu tragen. Dies erfolgte durch die Verflechtung zweier Messverfahren, da keine Methode allein eine vollständige Erfassung der Klimadynamik in Zeit und Raum zulässt:

- stationäres Klimamessnetz: diskrete Punkte - zeitliches Kontinuum,
- Klimamessfahrten: flächige Aussagen - Momentaufnahme.

3.1 Stationäres Klimamessnetz

Zur Beleuchtung der räumlichen Struktur der klimatischen Verhältnisse in ihrer zeitlich variierenden Ausprägung wurde über eine Gesamtlaufzeit von 2 Jahren ein im Innenstadtbereich verdichtetes Rastermessnetz von 12 automatischen Messstationen betrieben. Ein Messzeitraum von mindestens 2 Jahren ist erforderlich, um jahreszeitliche Schwankungen zu erfassen, ohne hierbei bei Auftreten extremer Monate eine untolerierbare Verfälschung der Aussagen hinnehmen zu müssen.

Die Grundform eines Messnetzes ist ein geometrisches Raster. Hierdurch ist eine bestmögliche Flächendeckung zu erzielen. Der Anzahl der einzusetzenden Messstellen sind allerdings, bedingt durch den für jede Klimastation anfallenden Kontroll- und Wartungsaufwand, Grenzen gesetzt.

Um ein Maximum an Aussagekraft zu erzielen, muss deshalb die Form des Messnetzes sowie die Lage der einzelnen Messpunkte dem Untersuchungsziel angepasst sein.

Dank früherer Untersuchungen bestand in Speyer die Möglichkeit an Hand bereits bekannter klimatischer Grobstrukturen (birnenförmige Wärmeinsel) und der Kenntnis über einzelne Gebiete besonderer Klimafunktion (z.B. Germansberg) das Design des Messnetzes bereits im Vorfeld zu optimieren. Des weiteren erfolgten Abstimmungsgespräche mit dem Stadtplanungsamt, um Planungsschwerpunkte der Stadtentwicklung bei der konkreten Messstellenauswahl mit einzubeziehen. Hierbei sind u.a. zu nennen das Industriegebiet Austraße, die „Parkstadt am Rhein“ (Industriegebiet Süd) mit Landeplatz, mögliche Nutzungen der Baggerseeflächen, eine Verdichtung der Wohnbebauung (z.B. Vogelgesang) sowie potentielle Wohn- und Gewerbegebiete im Osten des Stadtgebietes (z.B. Schlangewühl).

Angepasst an die langgestreckte Form des Siedlungsbandes zwischen den großen Waldflächen im Westen und dem Rhein im Osten wurden in Nord-Süd-Richtung zwei parallele Hauptachsen mit jeweils vier Messpunkten eingerichtet. Sie lagen an den Randzonen der Bebauung und waren dadurch geeignet, die klimatischen Einflüsse des Stadtfeldes zu ermitteln. Hinzu kam eine weitere Messstelle außerhalb der Hauptachsen, um die klimatischen Verhältnisse in der südlichen Rheinschleife (Parkstadt am Rhein) zu erfassen. Das Grundmessnetz wies somit eine L-Struktur auf (vgl. Karte 3.1 : Lage und Bezeichnung der Messstationen).

In dieses Grundmessnetz eingestrichelt wurde ein engmaschigeres Innenstadtmessnetz, bestehend aus weiteren drei Messstellen, das ebenfalls näherungsweise eine L-Struktur zeigte. Außer den Punkten 8 (RIH) und 9 (KRH) im Stadtkernbereich zählte hierzu Punkt 5 (BAH). Dieser Standort wurde gewählt, um in Verbindung mit Punkt 7 (SIP) des Grundmessnetzes den Einfluss des Grünstreifens entlang des Woogbaches untersuchen zu können.

Die Nummerierung, die Standortbezeichnung und die genaue Lage der Stationen sind dem Standortverzeichnis (Tab. 3.1) zu entnehmen.

Standortverzeichnis S P E Y E R

Stand: 09/94

Standort				TK 25	Höhe m ü.NN	Gauß - Krüger		Messzeitraum		Mess- parameter	Bemer- kungen
Nr.	Name	Kenng.	Kommune			rechts	hoch	von	bis		
1	Rinkenbergerhof	RIH	Stadt Speyer	6616	100	345742	546920	10.03.1992	25.08.1994	T, F, A, V	
2	Sanddornweg	SAW	Stadt Speyer	6616	99	345897	546898	23.03.1992	25.08.1994	T, F, A, V	
3	Tennisplatz	TEP	Stadt Speyer	6616	103	345674	546666	23.04.1992	25.08.1994	T, F, A, V	
4	Tullastraße	TUS	Stadt Speyer	6616	96	345947	546675	30.03.1992	25.08.1994	T, F, A, V	
5	Bahnhof	BAH	Stadt Speyer	6616	103	345840	546558	16.04.1992	25.08.1994	T, F, A, V	
6	Pferdekoppel	PFK	Stadt Speyer	6616	96	345930	546570	22.05.1992	25.08.1994	T, F, A, V	
7	Schießplatz	SIP	Stadt Speyer	6616	101	345674	546505	23.03.1992	25.08.1994	T, F, A, V	
8	Stadthalle	STH	Stadt Speyer	6616	103	345825	546469	24.03.1992	25.08.1994	T, F, A, V	
9	Krankenhaus	KRH	Stadt Speyer	6616	103	345903	546441	10.03.1992	25.08.1994	T, F, A, V	
10	Ruppertsackerhof	RUP	Stadt Speyer	6616	107	345677	546377	24.03.1992	25.08.1994	T, F, A, V	
11	Germansberg	GEB	Stadt Speyer	6616	96	345912	546345	23.03.1992	25.08.1994	T, F, A, V	
12	Industriegebiet-Süd	INS	Stadt Speyer	6716	95	346183	546241	23.03.1992	25.08.1994	T, F, A, V	

Erläuterung der Messparameter:

T	Lufttemperatur	Messgerät: Kombi-Messwertgeber in "Gießener Hütte"	Messhöhe: 0,7 m über Grund
F	relative Luftfeuchte	Messgerät: Kombi-Messwertgeber in "Gießener Hütte"	Messhöhe: 0,7 m über Grund
A	Windrichtung	Messgerät: elektronischer WOELFLE-Anemograph	Messhöhe: 6,0 m über Grund
V	Windgeschwindigkeit	Messgerät: elektronischer WOELFLE-Anemograph	Messhöhe: 6,0 m über Grund

Tab. 3.1 : Standortverzeichnis Speyer

Wie aus der Messstellenkarte zu ersehen, mussten allerdings bei der Auswahl der konkreten Standorte hinsichtlich ihrer geometrischen Lage (rechtwinkeliges Messnetz) oftmals Kompromisse eingegangen werden, da das Messumfeld einer Klimamessstelle bezüglich Untergrund und freier Anströmbarkeit einschränkenden Anforderungen unterliegt. Generell wurden die einzelnen Punkte des Messnetzes so gewählt, dass sie innerhalb der für ihr Umfeld charakteristischen Nutzungsstrukturen lagen.

An den Messstationen wurden die folgenden meteorologischen Parameter kontinuierlich erfasst:

- Lufttemperatur
- Luftfeuchte
- Windrichtung
- skalares Mittel der Windgeschwindigkeit
- vektorielles Mittel der Windgeschwindigkeit.

Die Sensoren für die Klimaparameter Lufttemperatur und Luftfeuchte befanden sich in einer Lamellenhütte in lokalklimatisch relevanter Höhe (70 cm). Die Windmessungen erfolgten auf einem 6 m hohen Mast (siehe Abb. 3.1 : Photo der Messstation Rinkenberger Hof (RIH)). Die Messdaten wurden im 10-Sekunden-Takt abgefragt und von dem eingesetzten elektronischen Datenloggersystem zu 10-Minuten-Mittelwerten verdichtet. Die Stationen arbeiteten autonom und waren zu diesem Zweck mit Akku und Solarpanel ausgerüstet. Die Datenspeicherung erfolgte elektronisch auf Memory Cards.



Abb. 3.1 : Photo der Messtation Rinkenberger Hof (RIH)

Auf eigene Niederschlagsmessungen wurde verzichtet, da aufgrund der ebenen Lage des Untersuchungsgebietes keine klimatisch signifikanten Unterschiede in den Niederschlagssummen zu erwarten sind. Stattdessen sind die Niederschlagsmesswerte des Deutschen Wetterdienstes nachrichtlich übernommen (Tab. 4.0.3 : Lufttemperatur in Mannheim und Niederschlag in Speyer; Diagramm 5.2.2 : Niederschlag an der Station Speyer; Diagramm 5.2.3 : Abweichungen des Niederschlages vom Mittel 1951 – 1980).

3.2 Klimamessfahrten

Die unterstützenden Messfahrten hatten die Aufgabe, die durch das Messnetz gewonnene Klimainformation für bioklimatisch relevante Situationen flächig exakt aufzulösen und die siedlungsstrukturellen mikroklimatischen Unterschiede genau zu kartieren. Des weiteren dienten sie dazu klimatische Entlastungsflächen und Bahnen aufzuspüren und die Reichweite der von diesen Flächen ausgehenden positiven Wirkung auf umliegende Gebiete festzustellen. Zur Erfassung der Entlastungsgebiete war es erforderlich das Messfahrtgebiet über das direkte Messgebiet (Messnetz) hinaus auszudehnen. Um allen den genannten Anforderungen gerecht zu werden, wurden unter Vorgabe der vermuteten Struktur der zu untersuchenden lokalen Klimasysteme 3 Messrouten ausgearbeitet, die im Innenstadtbereich überlappten um eine Anbindung untereinander zu ermöglichen (siehe Karte 3.2 : Messfahrten mit dem Klimamesswagen - Streckenführung).

Bei der Messfahrt fährt der Klimamesswagen (Abb. 3.2.1 : Photo des Klimamesswagens), an dem ein Strahlungssensor sowie in zwei Höhen an Auslegern Temperatur- und Feuchtesensoren angebracht sind, mit möglichst konstanter Geschwindigkeit langsam die festgelegte Messstrecke ab, wobei kontinuierlich die Messdaten aufgezeichnet werden.



Abb. 3.2.1 : Photo des Klimamesswagens

Da aufgrund des Tagesganges der Klimaparameter (siehe Diagramm 4.3.1 : Mittlerer monatlicher Tagesgang der Lufttemperatur im August 1993 - an ausgewählten Stationen) die Messwerte sich zeitlich verändern, ist es erforderlich um eine Momentaufnahme der räumlichen Struktur der Temperatur- und Feuchtefelder zu erhalten, dass bei der Messfahrt-auswertung eine Trendkorrektur, d.h. eine nachträgliche Eliminierung der zeitlichen Änderung der gemessenen Parameter, vorgenommen wird. Hierfür sind unterschiedliche Rechenverfahren bekannt /1/.

Die Anbindung an den gemessenen Tagesgang erfolgte durch Anfahren der Messstationen des stationären Messnetzes im Laufe der Messfahrt. Da aufgrund der Struktur- und Nutzungsunterschiede der Tagesgang im Messgebiet eine unterschiedliche Ausprägung aufweist, war es erforderlich für einzelne Streckenabschnitte der Messfahrt unterschiedliche Trendkurven zu verwenden. Um die hierbei auftretenden unvermeidbaren Korrekturfehler zu minimieren werden Messfahrten an den Tageszeiten mit möglichst geringer Temperaturänderung, d.h. um den Zeitpunkt des Lufttemperaturmaximums nach Sonnenhöchststand (Maximumfahrt) und kurz vor Sonnenaufgang zum Lufttemperaturminimum (Minimumfahrt), durchgeführt. Je länger eine Messfahrt andauert, desto größer sind auch die Fehler bei den trendkorrigierten Messfahrtwerten. Dies ist auch der Grund für die notwendige Aufsplittung der Klimamessfahrten auf die drei Routen West, Ost und Süd.

Insgesamt wurden 7 Minimumfahrten und 8 Maximumfahrten durchgeführt. Um eine Vergleichbarkeit der Messfahrtergebnisse untereinander zu gewährleisten erfolgten die Messfahrten soweit wie möglich an allen drei Routen innerhalb der selben Wetterlage. Grundsätzlich wurden hierfür stabile Strahlungswetterlagen ausgewählt, da sich hierbei die größten Temperaturunterschiede ausprägen, wodurch die messtechnische Erfassung erleichtert wird. Die Frühjahrmessfahrten fanden im März und April 1994, die Sommermessfahrten Juni und Juli 1994 statt. Die genauen Termine, sowie die Art der Messfahrt, die Bezugsuhrzeit nach erfolgter Trendkorrektur und trendkorrigierten Temperaturextreme sind in der Messfahrtübersichtstabelle (Tab. 3.2 : Messfahrten Speyer) zusammengestellt.

Messfahrten SPEYER

Datum	Fahrzeit MEZ	Minimumfahrt	Maximumfahrt	Kennung	T _E MEZ	Temperatur			
						T _{MIN} °C	T _{MAX} °C	ΔT °C	
- WEST -									
14.04.1994	12:40 - 15:28		X	SW140401	14:00	6,8	8,6	1,8	
15.04.1994	02:50 - 05:40	X		SW140402	04:00	-0,3	3,3	3,6	
22.04.1994	12:10 - 14:46		X	SW220494	15:00	18,3	21,3	3,0	
23.06.1994	11:47 - 14:52		X	SW230601	14:00	22,5	25,0	2,5	
24.06.1994	01:29 - 04:24	X		SW230602	04:00	9,7	14,7	5,0	
- OST -									
19.04.1994	02:59 - 05:59	X		SO190494	04:00	0,3	4,0	3,7	
21.04.1994	12:13 - 15:09		X	SO210494	14:00	15,8	17,6	1,8	
21.06.1994	11:55 - 15:06		X	SO210601	14:00	23,8	26,7	2,9	
22.06.1994	01:35 - 04:51	X		SO210602	04:00	18,4	20,2	1,8	
11.07.1994	11:52 - 15:06		X	SO110701	14:00	26,8	30,2	3,4	
12.07.1994	01:28 - 04:58	X		SO110702	04:00	13,2	19,0	5,8	
- S Ü D -									
30.03.1994	11:33 - 13:54		X	SD300301	13:00	19,0	20,4	1,4	
31.03.1994	02:44 - 05:16	X		SD300302	04:00	9,0	14,6	5,6	
27.06.1994	11:47 - 14:22		X	SD270601	13:00	28,3	30,4	2,1	
01.07.1994	01:39 - 04:13	X		SD010794	03:00	16,3	18,9	2,6	

T_E = Bezugszeit; Mg 11.94

Tab. 3.2 : Messfahrten Speyer

4 Thermische Verhältnisse im Stadtgebiet Speyer

Die Lufttemperatur weist einen Tages- und Jahresgang auf. Witterungsbedingt, d.h. abhängig von der Wetterlage, variiert zusätzlich das Temperaturniveau von Tag zu Tag. Um die gemessenen Temperaturwerte mit denen anderer Regionen bzw. vergangener Jahre vergleichen zu können, ist es deshalb üblich die Messwerte statistisch auf Monats- bzw. Jahresbasis auszuwerten. Dies erfolgt in Form von Mittelwertbildung (Monatsmittel, mittlerer monatlicher Tagesgang, Jahresmittel) und in Form von Extremwerten (tiefste bzw. höchste Temperatur des Monats/Jahres). Diese Werte können dann zu den Messungen anderer Stationen in Bezug gesetzt werden. Eine Einordnung der Monats- und Jahresmitteltemperaturen bezogen auf die thermischen Verhältnisse vergangener Jahre erfolgt durch Vergleich der Werte mit den jeweiligen langjährigen Mittelwerten und der Bildung der Abweichungen hiervon (siehe hierzu Tab. 4.0.1 : Klimastatistik Mannheim (Wewa) 1978 bis 1997). Da in Speyer keine langjährigen Temperaturmessungen vorliegen, wurde zur Einordnung der Messmonate, in denen das Messnetz in Speyer betrieben wurde, auf die Messreihe des Deutschen Wetterdienstes in Mannheim zurückgegriffen. Für die Jahre 1992 bis 1994 sind die Monats- und Jahresmittelwerte, sowie die Abweichungen vom langjährigen Mittel tabellarisch (Tab. 4.0.3 : Lufttemperatur in Mannheim und Niederschlag in Speyer) und graphisch (Diagramm 4.0 : Abweichungen der Lufttemperatur vom Mittel 1951 - 1980) als Übersichten zusammengestellt.

MANNHEIM (Wewa) 96 m ü N N

Jahr	Lufttemperatur								Rel. Feuchte %	Bewölkung in 1/8	Sonnen-schein		Nieder-schlag		Anzahl der Tage												
	Mittel °C	Abweichung* K	MAX °C	Datum	MIN °C	Datum	MIN am Erdboden °C	Datum			Std.	%*	mm	%*	N ≥ 0,1 mm	N ≥ 1,0 mm	N ≥ 10,0 mm	Schneefall**	Schneedecke***	Nebel	Gewitter	heitere Tage	trübe Tage	heiße Tage	Sommertage	Frosttage	Eistage
1978	9,6	-0,4	31,5	30.07.	-20,5	18.02.	-22,4	18.02.	77	5,5	1496	83	728	120	169	118	21	27	28	44	29	25	160	4	31	67	12
1979	9,9	-0,1	30,6	30.05.	-17,4	07.01.	-23,1	02.01.	75	5,4	1605	89	645	106	176	119	12	27	34	27	27	28	155	6	55	57	17
1980	9,7	-0,3	32,9	02.08.	-11,3	14.01.	-13,7	14.01.	77	5,4	1508	84	749	124	176	124	25	23	16	23	20	45	167	4	30	71	12
1981	10,2	0,2	31,5	15.06.	-13,6	08.01.	-17,9	08.01.	77	5,6	1533	85	901	149	200	140	24	42	39	23	30	33	172	7	42	76	15
1982	10,7	0,7	32,0	14.07.	-18,7	14.01.	-23,2	14.01.	76	5,1	1733	96	679	112	178	112	17	16	25	33	26	54	134	17	71	60	16
1983	10,8	0,8	36,0	31.07.	-10,4	15.12.	-13,6	23.02.	76	5,2	1674	93	714	118	185	130	19	24	12	39	30	39	144	23	69	71	11
1984	9,8	-0,2	36,3	11.07.	-9,3	20.02.	-12,3	20.02.	77	5,3	1600	89	693	114	182	120	18	29	9	37	17	41	156	8	43	58	2
1985	9,4	-0,7	33,7	14.08.	-18,7	16.02.	-23,3	08.01.	75	5,2	1799	100	606	100	157	110	11	34	57	35	30	39	143	7	45	90	35
1986	10,1	0,0	36,1	03.08.	-13,8	22.02.	-16,5	22.02.	74	5,3	1659	97	721	112	176	119	23	28	37	36	33	33	147	12	55	69	17
1987	9,6	-0,6	31,7	30.06.	-17,6	13.01.	-19,5	13.01.	77	5,6	1588	93	809	126	185	140	23	34	31	30	36	30	174	6	41	82	28
1988	11,0	0,8	33,3	23.07.	-7,6	22.11.	-10,5	22.11.	77	5,7	1599	93	820	128	195	136	22	32	12	27	37	18	176	9	52	50	3
1989	11,1	0,9	34,6	16.08.	-8,7	26.11.	-11,4	26.11.	75	5,0	1861	109	663	103	154	111	20	10	0	46	25	49	141	12	73	56	6
1990	11,3	1,1	36,7	05.08.	-7,3	07.12.	-11,1	11.12.	73	5,2	1924	113	570	89	174	114	12	28	15	30	34	49	138	19	58	46	2
1991	10,5	0,3	35,3	11.07.	-12,7	07.02.	-14,0	07.02.	70	4,9	1931	113	447	70	137	86	9	21	18	33	17	43	125	24	71	80	11
1992	11,2	1,0	36,7	09.08.	-10,2	31.12.	-12,7	31.12.	73	5,2	1737	102	646	101	165	115	14	9	5	34	29	45	145	21	72	52	8
1993	10,7	0,5	32,9	30.07.	-11,3	04.01.	-13,1	04.01.	72	5,5	1608	94	627	98	184	129	14	16	7	21	33	27	164	14	62	76	15
1994	11,9	1,7	36,2	05.08.	-9,7	20.02.	-12,9	20.02.	77	5,5	1570	92	658	103	180	118	11	17	6	27	42	24	155	24	64	43	0
1995	10,9	0,7	36,0	21.07.	-9,3	06.01.	-12,6	30.12.	75	5,5	1512	90	853	128	163	123	28	24	10	31	29	40	165	19	60	63	10
1996	9,4	-0,8	33,1	07.06.	-15,3	29.12.	-17,1	29.12.	74	5,4	1587	95	676	101	155	104	18	34	23	21	21	39	165	8	43	86	16
1997			33,6	25.08.	-16,6	02.01.	-19,8	02.01.	73	5,2	1778	106	621	93	159	116	14	15	29	31	30	37	142	14	65	66	18
Mittel	10,4	0,3	34,0	-	-13,0	-	-16,0	-	75	5,3	1665	96	691	110	173	119	18	25	21	31	29	37	153	13	55	66	13
Min	9,4	-0,8	30,6	-	-20,5	-	-23,3	-	70	4,9	1496	83	447	70	137	86	9	9	0	21	17	18	125	4	30	43	0
Max	11,9	1,7	36,7	-	-7,3	-	-10,5	-	77	5,7	1931	113	901	149	200	140	28	42	57	46	42	54	176	24	73	90	35

* vom langjährigen Mittel :1978-85: T+N = 1931-60; S = 1951-60 / 1986: T+N+S = 1951-80 (vorläufiges Mittel) / 1987-94: T+N+S = 1951-80 / ab 1995: T+N+S = 1961-90
 ** ≥ 0,1 mm / *** ≥ 0 cm
 Daten aus: Deutscher Wetterdienst: Monatlicher Witterungsbericht, ISSN 0435-7965

Tab. 4.0.1 : Klimastatistik Mannheim (Wewa) 1978 bis 1997

Erläuterungen

Langjähriges Mittel:

- 1978-85 : T + N = 1931-60; S = 1951-60
- 1986 : T + N + S = 1951-80 (vorläufiges Mittel)
- 1987-94 : T + N + S = 1951-80
- ab 1995 : T + N + S = 1961-90

Klimatermine:

- bis 1986 : 7:00 / 14:00 / 21:00 (mittlere Ortszeit) = I / II / III
- ab 1987 : 7:30 / 14:30 / 21:30 (MEZ) = I / II / III

Anzahl der Tage:

- Tag mit Schneefall = ganz oder teilweise feste Niederschläge
(Schnee, Hagel, Graupel)
- Tag mit Schneedecke = mindestens 50 % des Erdbodens in der Umgebung
der Beobachtungsstation ist zum Klimatermin I
mit gefallenem festem Niederschlag bedeckt,
Flecken und Reste bleiben unberücksichtigt
- Heiterer Tag = Tagesmittel der Bewölkung < 20 % (= 1,6 Achtel)
- Trüber Tag = Tagesmittel der Bewölkung > 80 % (= 6,4 Achtel)
- Heißer Tag = Temperaturmaximum $\geq 30,0$ °C
- Sommertag = Temperaturmaximum $\geq 25,0$ °C
- Frosttag = Temperaturminimum < 0,0 °C
- Eistag = Temperaturmaximum < 0,0 °C

Tab. 4.0.2 : Erläuterungen zur Klimastatistik

Lufttemperatur in Mannheim und Niederschlag in Speyer der Jahre 1992-94 sowie Langjähriges Mittel 1951-80

Jahr-Monat	Lufttemperatur MANNHEIM (Wewa) 96 müNN			Niederschlag SPEYER 99 müNN		
	Mittel	Abweichung	LM 1951-80	Höhe	Abweichung	LM 1951-80
	°C	K	°C	mm	%	mm
92-01	2,0	0,8	1,2	36	95	38
92-02	3,5	1,2	2,3	29	78	37
92-03	7,2	1,3	5,9	46	131	35
92-04	10,3	0,3	10,0	30	67	45
92-05	17,1	2,7	14,4	23	38	60
92-06	18,7	1,0	17,7	136	170	80
92-07	20,6	1,3	19,3	151	219	69
92-08	21,6	3,1	7,0	49	68	72
92-09	15,4	0,3	15,1	33	66	50
92-10	8,2	-1,8	10,0	53	129	41
92-11	7,2	1,9	5,3	71	145	49
92-12	2,7	0,5	2,2	35	80	44
92-gesamt	11,2	1,0	10,2	692	112	620
93-01	4,5	3,3	1,2	26	68	38
93-02	0,5	-1,8	2,3	9	24	37
93-03	5,9	0,0	5,9	12	34	35
93-04	13,1	3,1	10,0	30	67	45
93-05	16,7	2,3	14,4	55	92	60
93-06	18,4	0,7	17,7	31	39	80
93-07	18,9	-0,4	19,3	62	90	69
93-08	19,4	0,9	18,5	17	24	72
93-09	14,5	-0,6	15,1	97	194	50
93-10	9,3	-0,7	10,0	75	183	41
93-11	2,0	-3,3	5,3	18	37	49
93-12	5,3	3,1	2,2	126	286	44
93-gesamt	10,7	0,5	10,2	558	90	620
94-01	4,4	3,2	1,2	53	139	38
94-02	2,7	0,4	2,3	33	89	37
94-03	9,1	3,2	5,9	39	111	35
94-04	10,0	0,0	10,0	56	124	45
94-05	15,0	0,6	14,4	94	157	60
94-06	18,9	1,2	17,7	72	90	80
94-07	23,6	4,3	19,3	28	41	69
94-08	19,8	1,3	18,5	89	124	72
94-09	15,4	0,3	15,1	96	192	50
94-10	9,4	-0,6	10,0	26	63	41
94-11	8,9	3,6	5,3	25	51	49
94-12	5,5	3,3	2,2	31	70	44
94-gesamt	11,9	1,7	10,2	642	104	620

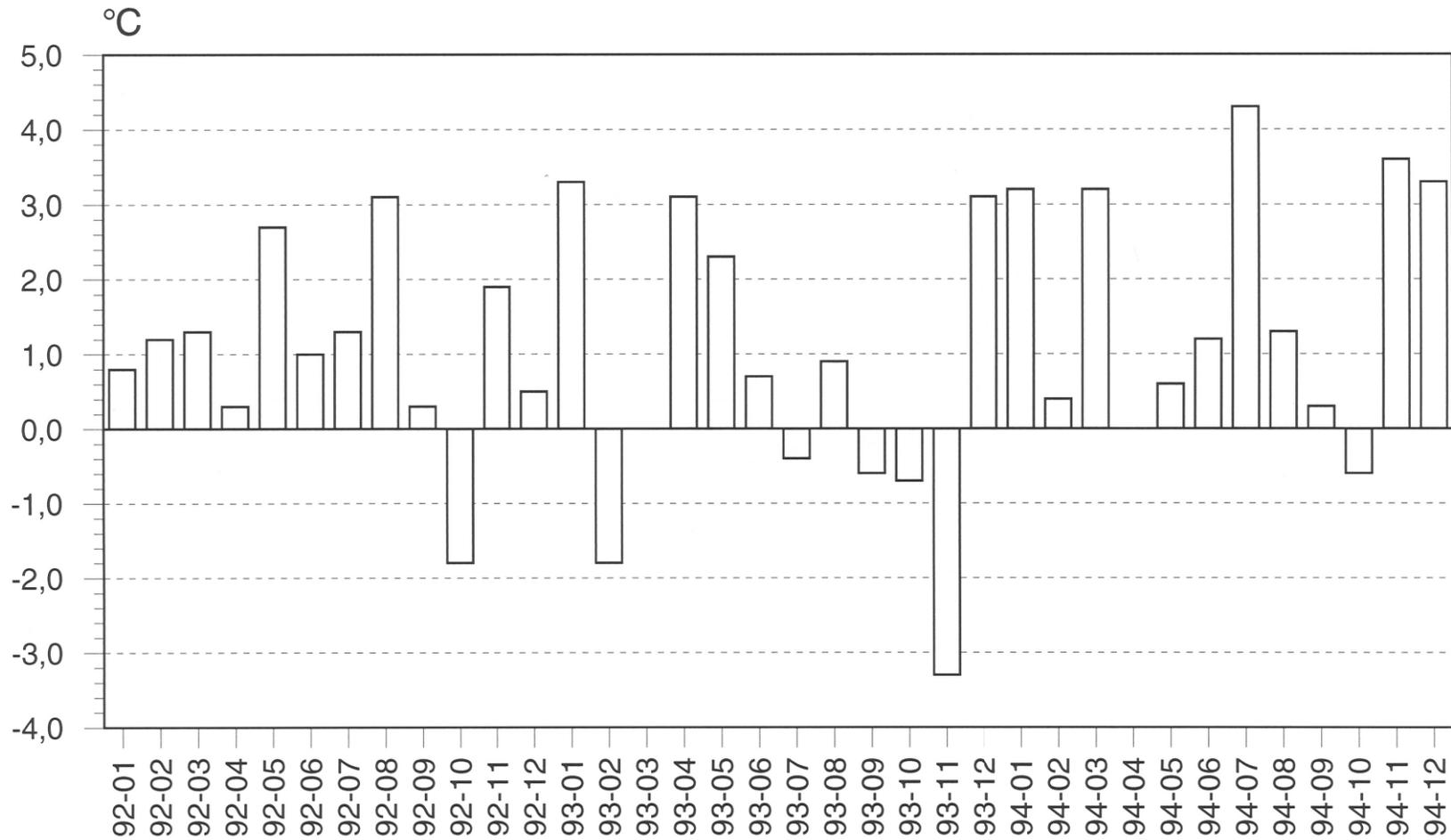
Daten aus: Deutscher Wetterdienst: Monatlicher Witterungsbericht, ISSN 0435-7965

Tab. 4.0.3 : Lufttemperatur in Mannheim und Niederschlag in Speyer

Abweichungen der Lufttemperatur vom Mittel 1951-1980

an der Station MANNHEIM (Wewa) 96 müNN

- 81 -



Daten aus: Deutscher Wetterdienst: Monatlicher Witterungsbericht, ISSN 0435-7965

Diagramm 4.0 : Abweichungen der Lufttemperatur vom Mittel 1951 - 1980

Die höchste positive Abweichung innerhalb des Messzeitraumes trat im Juni 1994 auf, wobei dieser Monat im Vergleich zum langjährigen Mittel um $4,3^{\circ}\text{C}$ zu warm war, die stärkste negative Abweichung stellte der November 1993 dar der $3,3^{\circ}\text{C}$ unter dem langjährigen Mittel lag.

Diese Schwankungsbreite verdeutlicht, dass die einzelnen Monatsmittelwerte als Wert für sich genommen wenig aussagekräftig sind. Erst im Vergleich zu anderen Werten, sei es zu den langjährigen Mittelwerten an der Station oder im Vergleich mit den Mittelwerten aus zeitgleichen Messungen an anderen Stationen, gewinnen sie an Aussagefähigkeit. Die Ergebnisse der statistischen Auswertungen der Temperaturmessungen an den Stationen des Messnetzes Speyer werden deshalb im Rahmen des vorliegenden Stadtklimagutachtens in Form der relativen Temperaturunterschiede der Stationen zueinander dargestellt. Diese Form ist besser geeignet die differenzierte thermische Struktur des Stadtgebietes zu charakterisieren, da sich die relativen Temperaturdifferenzen der Stationen zueinander nutzungs- bzw. strukturbedingt auf jedem Temperaturniveau ausbilden, d.h. unabhängig davon, ob der betrachtete Auswertzeitraum im langjährigen Vergleich als zu warm oder zu kalt anzusehen ist.

Zur Einordnung des Temperaturniveaus von Speyer im Regionalvergleich mit weiteren Gebieten Deutschlands sollte allerdings das langjährige Mittel verwendet werden, da ansonsten der Einfluss einzelner Wetterlagen zu einem verfälschten Bild führen könnte. Aufgrund der vergleichbaren Lage im Oberrheingraben können jedoch für diese Aussagen die langjährigen Temperaturwerte von Mannheim stellvertretend eingesetzt werden. Die Gegenüberstellung mit den Temperaturen von der Küste bis zur Zugspitze belegt, dass der Oberrheingraben zu den wärmsten Gebieten der Bundesrepublik zählt. Dies trifft sowohl auf die Sommer- (rot), wie auch auf die Wintermonate (blau) gleichermaßen zu und spiegelt sich in einer Jahresmitteltemperatur von über 10°C wider, die damit deutlich über dem Landesniveau liegt (vgl. Tab. 4.0.4 : Lufttemperatur ausgewählter Klimastationen in Deutschland).

Lufttemperatur ausgewählter Klimastationen in Deutschland
> langjährige Mittel der Jahre 1961-90 <

Station	Höhe ü NN m	Januar	August	Jahr
		°C	°C	°C
Wyk/Föhr	4	0,8	16,3	8,4
Hamburg-Fuhlsbüttel (Flugh.)	13	0,5	16,6	8,6
Berlin-Schönefeld (Flugh.)	46	-1,0	17,6	8,7
Brocken (Wst)	1142	-4,2	10,5	2,9
Weinbiet (Wst)	553	-0,9	16,2	7,8
Mannheim (Wewa)	96	1,2	18,8	10,2
Freiburg i. Br. (WA)	269	1,8	19,2	10,7
Feldberg/Schwarzwald (Wst)	1486	-3,4	10,6	3,3
München-Nymphenburg	515	-1,3	16,8	8,1
Zugspitze (Wst)	2960	-11,2	2,2	-4,8

Daten aus: Deutscher Wetterdienst: Monatlicher Witterungsbericht, ISSN 0435-7965

Tab. 4.0.4 : Lufttemperatur ausgewählter Klimastationen in Deutschland

4.1 Jahreszeitmittel der Abweichungen der Stationsmitteltemperaturen

Zur Charakterisierung des unterschiedlichen thermischen Verhaltens des mit dem Messnetz untersuchten Stadtgebietes wurden die Monatsmitteltemperaturen an den einzelnen Stationen jahreszeitlich zusammengefasst und relativ zueinander dargestellt.

Hierbei wurde wie folgt vorgegangen. Für jeden Monat wurde die Abweichung des Temperaturwertes an der jeweiligen Station vom Mittel aus der höchsten und tiefsten Monatsmitteltemperatur des Messnetzes gebildet. Diese mittleren monatlichen relativen Temperaturabweichungen der Stationen zueinander wurden wiederum stationsweise zu mittleren jahreszeitlichen relativen Temperaturabweichungen zusammengefasst, um so ein statistisch gesichertes Bild der mittleren jahreszeitlichen Ausprägung der städtischen Wärmeinsel zu erhalten. Die Jahreszeiten entsprechen hierbei ihrer meteorologischen Definition, d.h. zum Frühjahr zählen die vollständigen Monate März/April/Mai, der Sommer beinhaltet die Monate Juni/Juli/August, der Herbst die Monate September/Okttober/November und die Monate Dezember/Januar/Februar bilden den Winter. Generell wurde sowohl das Mittel über die jeweiligen 3 Monate gebildet, sowie dies zweimal, entsprechend dem zweijährigen Gesamtmeszeitraum.

Die so erhaltenen Temperaturabweichungen sind als eine Art Relativitätsskala für die Position des mittleren thermischen Niveaus der jeweiligen Station im Stationsvergleich zu sehen und dadurch geeignet die jahreszeitlich unterschiedliche thermische Struktur des Stadtgebietes signifikant nachzuweisen. Zur Quantifizierung der thermischen Unterschiede sind die hier verwendeten mittleren Temperaturabweichungen weniger geeignet, hierzu wurden in der weiteren Analyse die absoluten Temperaturextrema ausgewertet (s. Kapitel 4.2).

Im Diagramm 4.1.1 (Mittlere Temperaturabweichungen im Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter) sind die sommerlichen Verhältnisse rot, die winterlichen blau dargestellt, wobei die Stationen an Hand ihrer mittleren Temperaturabweichung in aufsteigender Reihenfolge angeordnet sind. Für die Übergangsjahreszeit Frühjahr wurde die sommerliche Stationsreihenfolge, für den Herbst die winterliche beibehalten.

Mittlere Temperaturabweichungen (Monatsmitteltemperaturen)

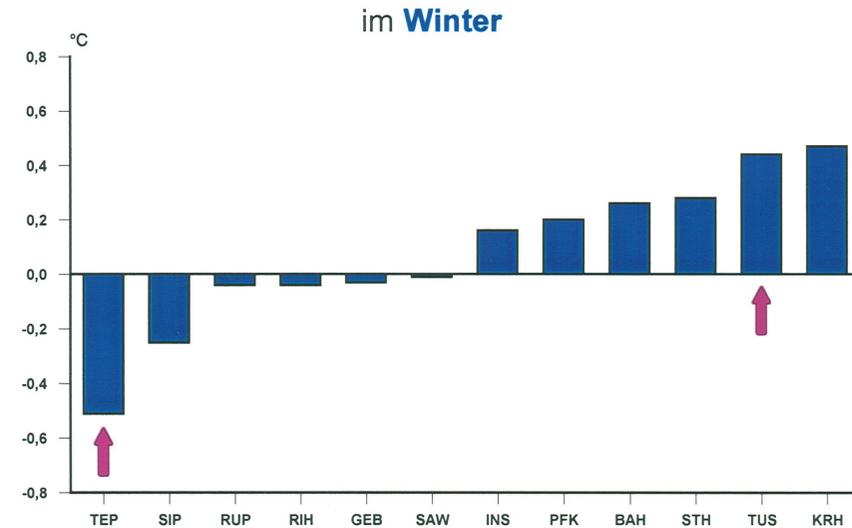
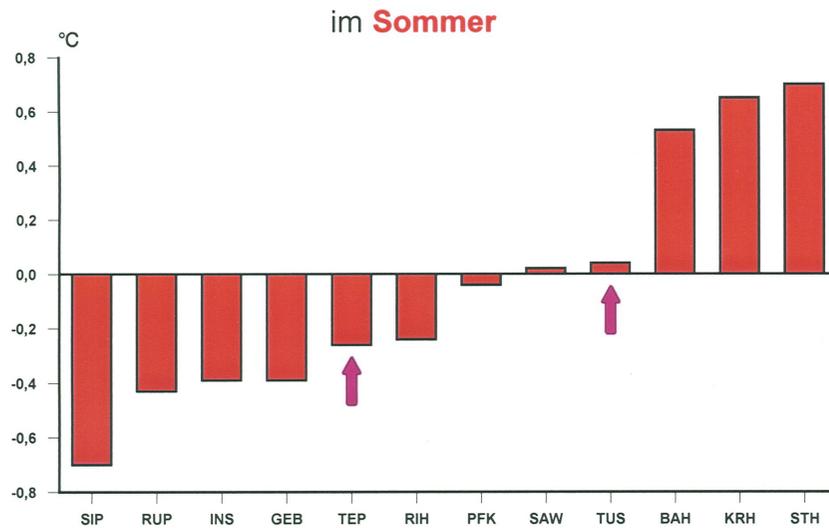
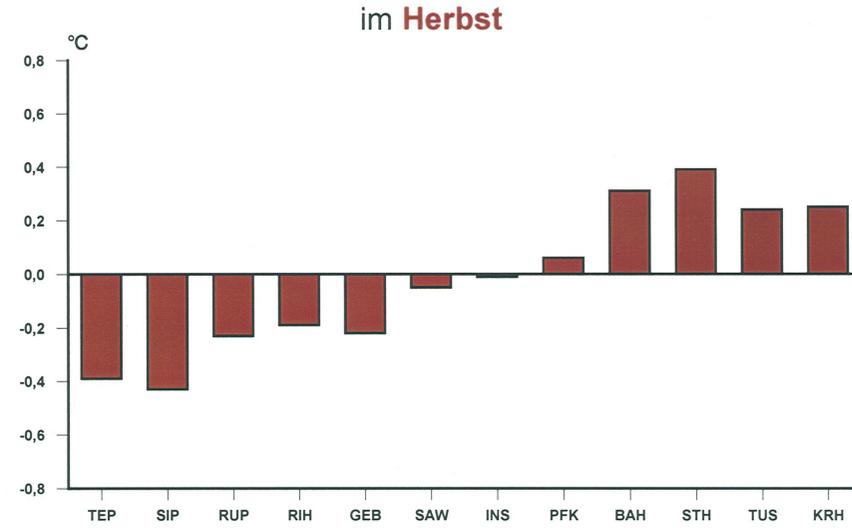
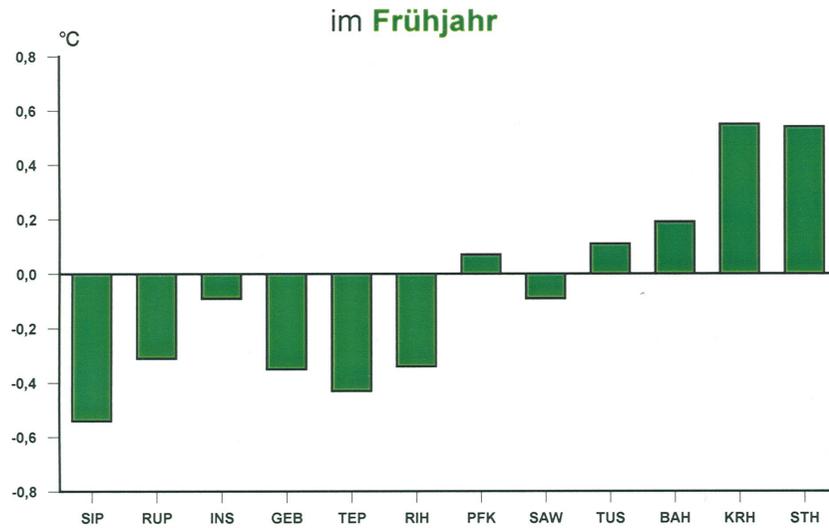


Diagramm 4.1.1 : Mittlere Temperaturabweichungen im Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter

Die innerstädtische Wärmeinsel ist im Sommer am stärksten ausgeprägt. Sie bleibt auch im Winter erhalten, wobei die Innenstadtstationen Stadthalle (STH) und Krankenhaus (KRH) (Städtisches Krankenhaus Speyer) allerdings ihre Position als wärmste Station tauschen. Dies liegt darin begründet, dass durch Beschattungseffekte das Krankenhausareal im Sommer etwas kühler bleibt, im Winter aufgrund der sehr geschützten Lage jedoch nachts weniger abkühlt und im Tagesmittel eine höhere Temperatur aufweist. Auffällig ist das Verhalten der Station Tullastraße (TUS) (rosa Pfeil). Hier zeigt sich die thermische Wirksamkeit der Wasserflächen der Baggerseen. Sie arbeiten im Winter als Wärmespeicher und sorgen so dafür, dass im Winter ein vergleichbares mittleres Temperaturniveau wie in der Innenstadt herrscht. In schwächerem Maße gilt dies auch für die Station Pferdekoppel (PFK) und für den Einfluss der Aueflächen auf die Winterposition der Station Industriegebiet (INS). Generell müssen allerdings die Werte der Station Industriegebiet, bedingt durch das benutzte Mittelungsprinzip, mit Vorsicht betrachtet werden, da aufgrund der zunehmenden Realisierung der „Parkstadt am Rhein“ während der Zeitdauer des Bestehens des Messnetzes von Sommer 1992 bis Sommerbeginn 1994 ein deutlich ansteigender Temperaturtrend zu verzeichnen war. Besonders stark wirkt sich dieser Mittelungseffekt beim Vergleich der Positionen des Sommer- und Frühjahrsmittels aus. Das Sommermittel wurde aus den Jahren 92/93 gebildet und entspricht somit weitgehend den Verhältnissen einer großräumigen Industriebranche, während das Frühjahrsmittel aus 93/94 eher die heutigen Verhältnisse widerspiegelt.

Unabhängig von der Jahreszeit ist das mittlere Temperaturniveau des westlichen Stadtrandes in Waldnähe (Stationen SIP und TEP) im Stationsvergleich deutlich am niedrigsten. Dass die Station TEP abweichend von ihrer Lage im Sommer relativ hohe Mitteltemperaturwerte aufweist (rosa Pfeile), ist ein Untergrundeffekt. Die Station war auf einer Sanddüne aufgebaut, die sich im Sommer stark aufheizte.

Zusammenfassend ergibt sich im Sommer ein abgestuftes Bild der Erhöhung des mittleren Temperaturniveaus von den Außenbereichen hin zur Innenstadt. Im Winter bleiben vor allem die vom Wald beeinflussten Stadtbereiche im Mittel kühl, während im Einflussbereich der Baggerseeflächen und der Rheinauen sich das mittlere Temperaturniveau, auch der Stadtrandbereiche, dem der Innenstadt annähert. Um ein noch weiter differenziertes Bild der thermischen Situation im Stadtgebiet Speyer zu erhalten, bedarf es der genaueren Beleuchtung der Tagesextrema und der unterschiedlichen Amplituden der Tagesgänge der Temperatur. Hierzu sei auf die folgenden Kapitel verwiesen.

In Diagramm 4.1.2 (Mittlere Temperaturabweichungen nach Jahreszeiten an den Stationen) sind, um für die einzelnen Stationen die jahreszeitliche Variation ihrer Temperaturabweichungen zum Mittelwert zwischen wärmster und kältester Station deutlich hervorzuheben, nochmals die Werte aus Diagramm 4.1.1 in ein einziges Diagramm mit überlagerten Balken zusammengefasst. Hierbei ist gut zu erkennen, dass die größten Unterschiede in der Monatsmitteltemperatur zwischen den Stationen im Sommer auftreten, gefolgt vom Frühjahr. Das bereits beschriebene abweichende winterliche Temperaturverhalten der Stationen TUS und PFK, sowie die sommerliche Besonderheit der auf einer Sanddüne gelegenen Station Tennisplatz heben sich bei dieser Form der Darstellung deutlich vom Verhalten der restlichen Stationen ab. Gleiches gilt für die Station INS, die nutzungsänderungsbedingt einem kontinuierlichen Temperaturanstieg unterlag.

Mittlere Temperaturabweichung (Monatsmitteltemperaturen) nach Jahreszeiten

- 25 -

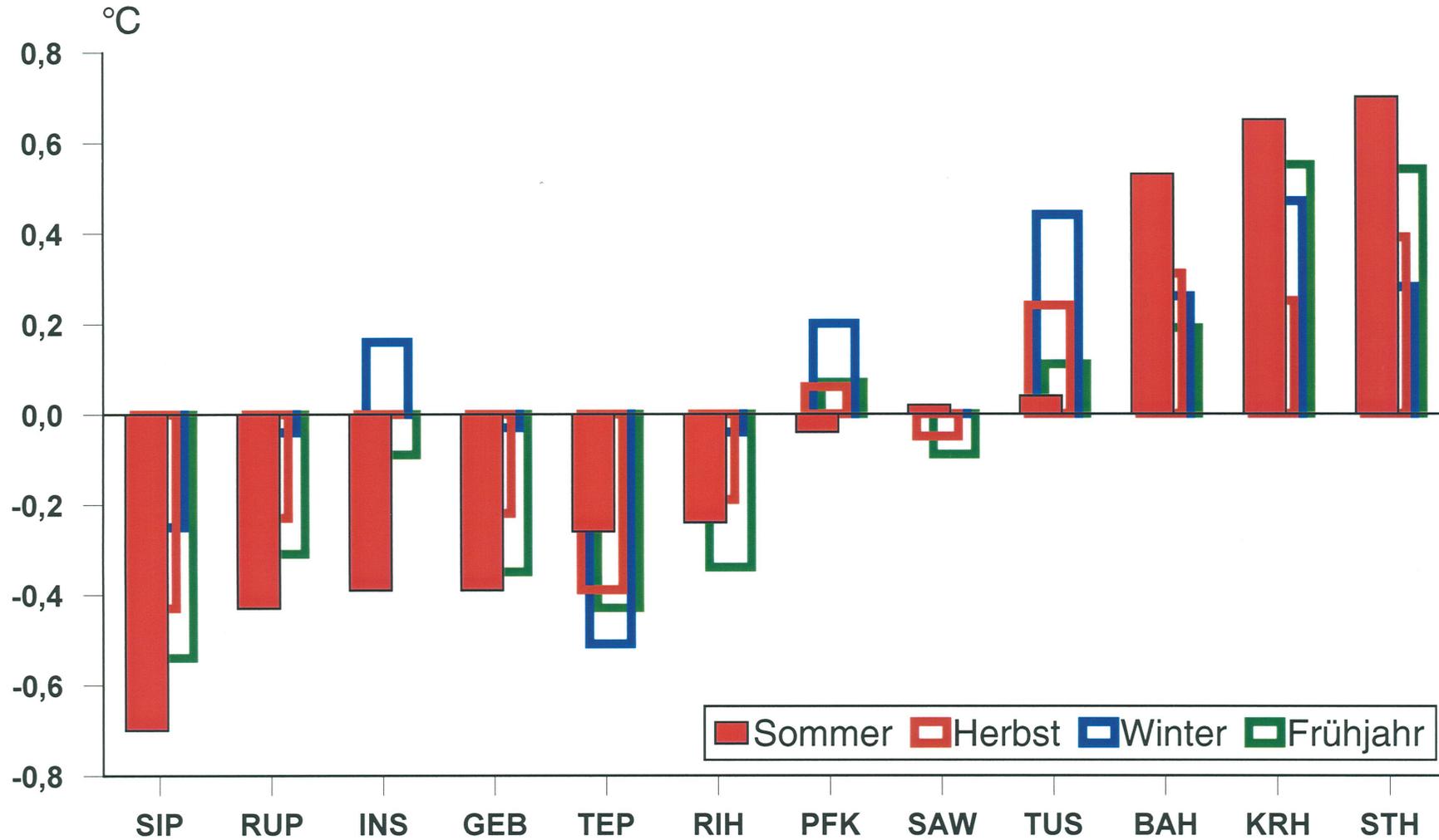


Diagramm 4.1.2 : Mittlere Temperaturabweichungen nach Jahreszeiten an den Stationen

4.2 Stationsdifferenzen bei den absoluten Maximum- und Minimumtemperaturen für einen Sommer- und Wintermonat

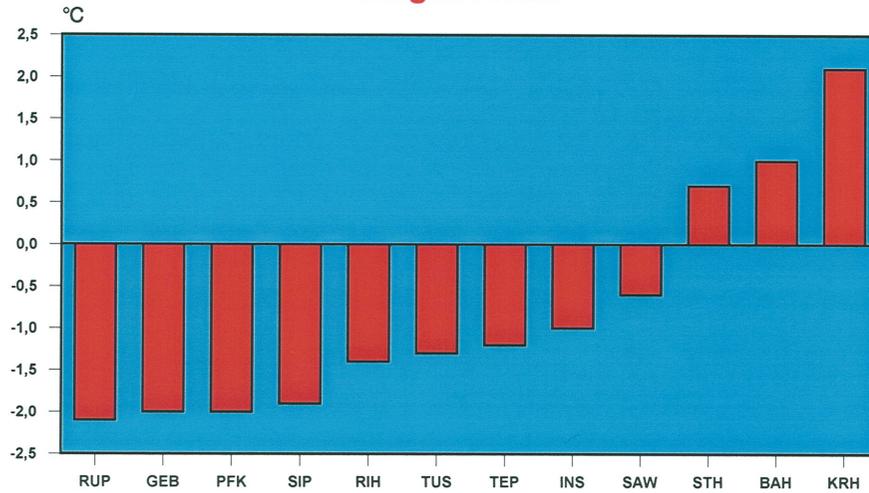
Für die Auswertung der absoluten Temperaturextreme wurde der heißeste und der kälteste Monat des Gesamtmesszeitraums ausgewählt. Dies waren der August 1992 und der Februar 1993 (vgl. Tab. 4.0.3 : Lufttemperatur in Mannheim und Niederschlag in Speyer, 1992 -94). Die verwendeten Temperaturwerte sind die jeweils in diesen Monaten an den Stationen gemessenen tiefsten (absolute Minima) bzw. höchsten (absolute Maxima) Werte. Analog dem Vergleich der Monatsmitteltemperaturen der Stationen wurden die Temperaturabweichungen der Stationswerte vom Mittel aus der höchsten und tiefsten Minimum- bzw. Maximumtemperatur des Messnetzes gebildet. Zur besseren Unterscheidung sind die Auswertungen der Minimumtemperaturen blau, die der Maximumtemperaturen beige unterlegt. Die ausgewiesenen Zahlenwerte sind ein Maß für die Größenordnung der Temperaturunterschiede, die an Strahlungstagen zwischen Innenstadt und Außenbereichen bei den Tageshöchsttemperaturen bzw. in Folge der nächtlichen Abkühlung auftreten können.

Die stärksten Temperaturunterschiede zwischen Innenstadt und Außenbereichen treten im Sommer kurz vor Sonnenaufgang zum Zeitpunkt des Maximums der nächtlichen Auskühlung auf. Im August 1992 betragen sie bis zu über 4°C. Im Winter bei kalten Strahlungsnächten bleibt die Innenstadt bis zu 3°C über dem Wert der kältesten Außenstation.

Die Schwankungsbreite bei den Tageshöchsttemperaturen der Stationen ist deutlich geringer. Im heißesten Monat lag sie bei knapp über 2°C. Im Winter sind die Unterschiede bei den Maximumtemperaturen aufgrund der geringen Dauer der Sonneneinstrahlung wenig ausgeprägt.

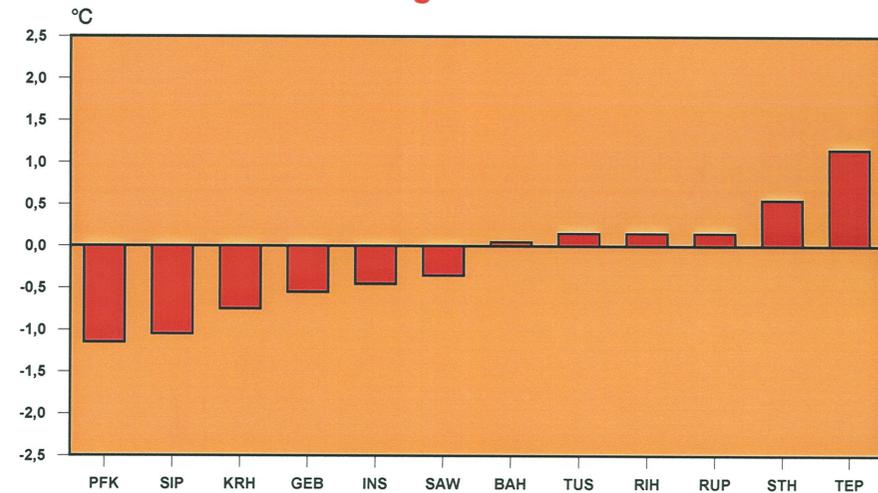
Unterschiede der absoluten Temperatur-Minima

im August 1992

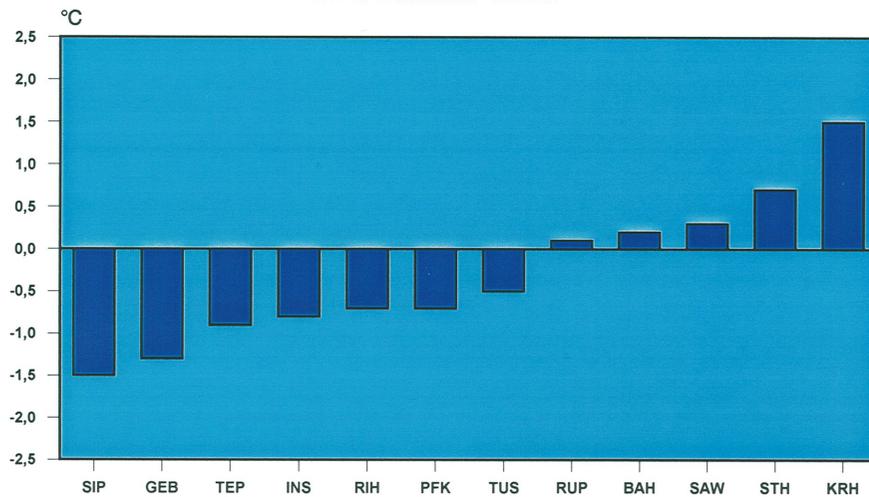


Unterschiede der absoluten Temperatur-Maxima

im August 1992



im Februar 1993



im Februar 1993

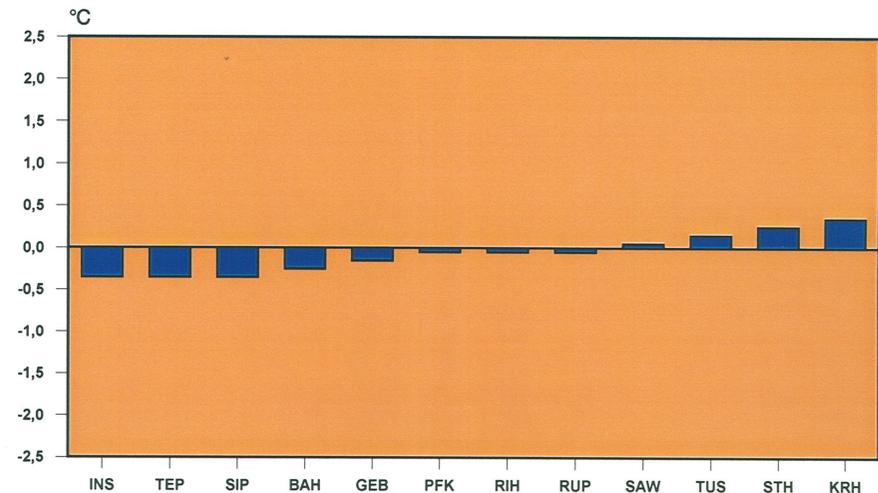


Diagramm 4.2 : Unterschiede der absoluten Temperatur – Minima und der Temperatur – Maxima im August 1992 und Februar 1993

Die Positionen der einzelnen Stationen in der Wärmeskala des Messnetzes sind zum Teil von Sommer zu Winter unterschiedlich. Aber auch innerhalb des gleichen Monats ist die Stationsvariation in der Wärmeskala sehr groß, die Stationen, die die höchsten Temperaturminima im Stationsvergleich aufweisen, bleiben nicht immer auch tagsüber am kältesten, und umgekehrt.

Im Hochsommer heben sich die landwirtschaftlichen Nutzflächen (Stationen RUP/GEB/PFK) deutlich von der innerstädtischen Wärmeinsel ab. Sie kühlen nachts stark aus und liegen auf dem gleichen nächtlichen Temperaturniveau wie die waldnahe Station SIP, die im Sommerhalbjahr im Monatsmittel mit Abstand die kälteste Station des Messnetzes ist.

Dem gegenüber spiegeln die Stadtstationen STH/BAH/KRH signifikant die nächtliche städtische Wärmeinsel wider, wobei die Station KRH aufgrund ihrer geschützten Lage nachts selbst im Vergleich zu den weiteren City-Stationen noch eine weitaus höhere Überwärmung zeigt. Die restlichen Außenstationen verbleiben, beeinflusst durch die Wärmespeicherfähigkeit der Rheinauen und der Baggerseen, nachts auf einem mittleren Temperaturniveau.

Wiederum eine Sonderstellung nimmt die Station TEP ein, die aufgrund der starken Überhitzung der Sanddüne, auf der sie stand, trotz guter Auskühlung nachts, nicht so kalt wird wie die landwirtschaftlichen Nutzflächen.

Die Tagessituation ist wesentlich differenzierter. Spitzenreiter bei den Tageshöchsttemperaturen ist untergrundbedingt die Station TEP. Die Innenstadt weist hingegen im Sommer zwar auch ein sehr hohes Temperaturniveau während des Tages auf, die landwirtschaftlichen Nutzflächen mit geringem Grünlandanteil (Stationen RIH und RUP) heizen sich im Verlauf des Tages jedoch auf vergleichbare Temperaturen auf. Es ist sogar so, dass beschattete und begrünte Innenstadtfächen (siehe Station KRH) bei den Tagesmaximumtemperaturen deutlich unter den Tageshöchstwerten der landwirtschaftlichen Flächen bleiben. Die geringste Überwärmung weisen die Außenstadtbereiche in Waldnähe (Station SIP) bzw. die Bereiche mit großem Grünanteil (Station PFK und GEB) auf.

Die Differenzen beim Temperaturniveau der Stationen zwischen sommerlicher Nacht- und Tagessituation, verursacht durch die nutzungsbedingt unterschiedlichen Tagesgänge der Lufttemperaturen, wird durch eine Auswertung der mittleren monatlichen Tagesamplituden im folgenden Kapitel nochmals eingehend untersucht.

4.3 Mittlere monatliche Tagesgänge und Tagesamplituden für einen Sommer- und Wintermonat

Der Tagesgang der Lufttemperatur ist sinusförmig (vgl. Diagramm 4.3.1 : Mittlerer monatlicher Tagesgang der Lufttemperatur im August 1993). Bis zu den frühen Morgenstunden kühlt sich die Luft kontinuierlich ab. Mit Sonnenaufgang und Erwärmung des Untergrundes steigt sie rasch an, um ihr Maximum kurz nach Sonnenhöchststand zu erreichen.

Nutzungsbedingt treten Unterschiede sowohl in der Schnelligkeit des Temperaturanstiegs bzw. Temperaturabfalls, entsprechend dem Aufnahme- bzw. Speichervermögen der Böden bzw. der Bebauung, auf, sowie auch in der Höhe der Extrema.

Um die nutzungsbedingten Unterschiede statistisch signifikant herauszuarbeiten, wurden für alle Stationen mittlere monatliche Tagesgänge erstellt. Einen mittleren monatlichen Tagesgang erhält man, indem man über einen Messzeitraum von einem Monat alle an dieser Station zu einer bestimmten Uhrzeit gemessenen Werte mittelt. So werden beispielsweise alle 1 Uhr - Werte des betrachteten Monats gemittelt, alle 2 Uhr - Werte usw..

Ein Beispiel für den Temperaturverlauf im Sommer (August 1993) an den Stadtstationen Krankenhaus (KRH) und Stadthalle (STH) im Vergleich mit den Außenstationen Tullastraße (TUS), Germansberg (GEB) und Schießplatz (SIP) ist in Diagramm 4.3.1 gegeben.

Mittlerer monatlicher Tagesgang der Lufttemperatur im August 1993

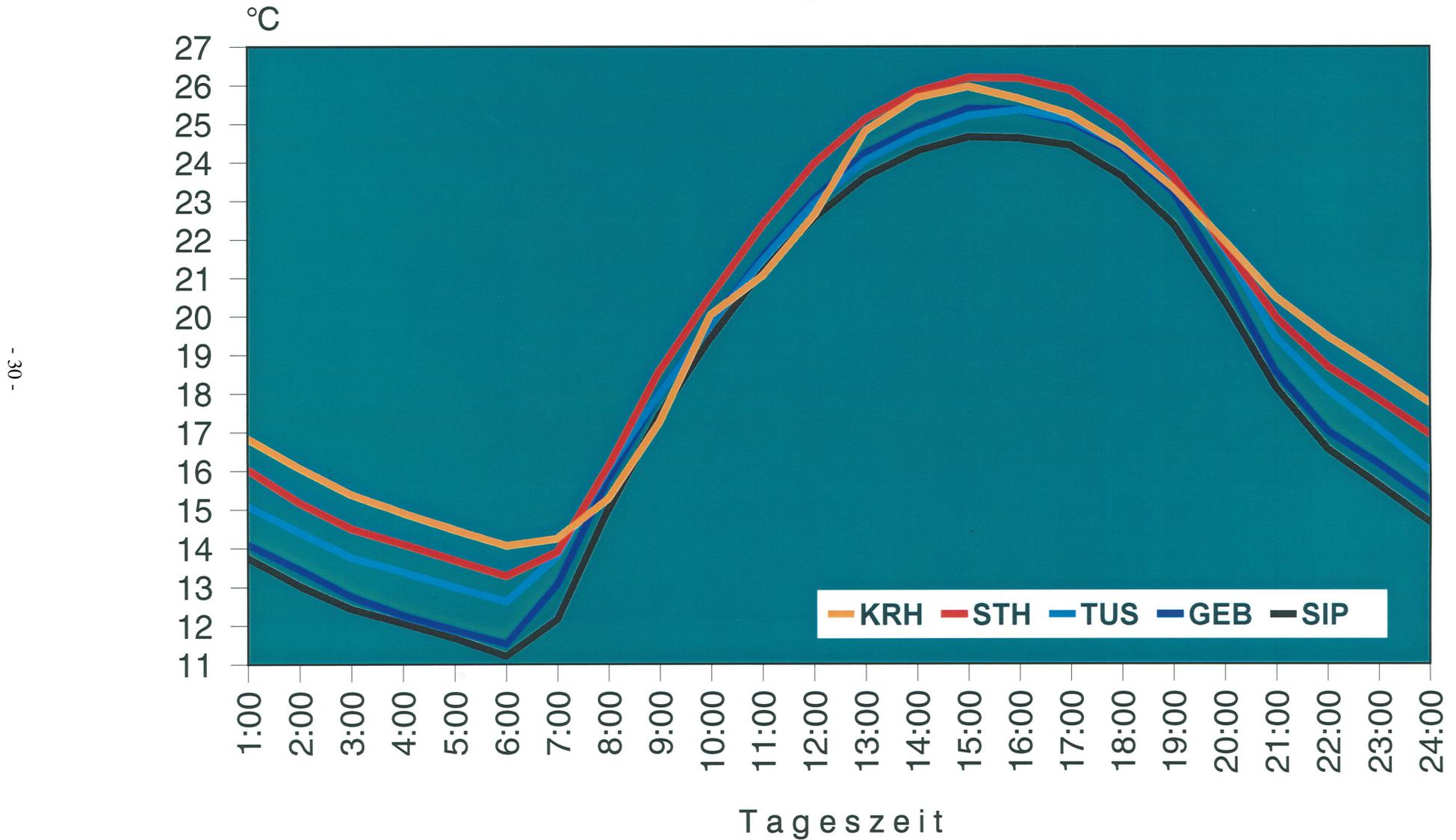


Diagramm 4.3.1 : Mittlerer monatlicher Tagesgang der Lufttemperatur im August 1993

Die Stadthalle (STH) erreicht als eine der freien Einstrahlung ausgesetzten Innenstadtstation die höchsten Temperaturen. Mit abnehmendem Sonneneinfallswinkel kühlt sie sich vergleichbar mit den ebenfalls frei stehenden Außenstationen rasch ab, verbleibt aber im Vergleich mit ihnen auf einem höheren Temperaturniveau. Die geschützt gelegene Innenstadtstation (KRH) bleibt die Nacht über sehr warm. Der Temperaturanstieg setzt beschattungsbedingt erst verzögert ein, bzw. ebenfalls beschattungsbedingt beginnt die Abkühlung früher als an anderen Stationen. Der Abkühlungsprozess ist jedoch im Vergleich mit den anderen Stationen aufgrund behinderter Abstrahlung merklich verlangsamt (geringere negative Steigung der Temperaturkurve am Nachmittag).

Die Temperaturverläufe an den Außenstationen ähneln einander. Die niedrigsten Temperaturen treten am Germansberg (GEB) und am Schießplatz (SIP) auf, wobei der Germansberg sich, bedingt durch die landwirtschaftliche Nutzung in seinem Umfeld, tagsüber auf das gleiche Temperaturniveau wie die im Gewerbegebiet liegende Station Tullastraße (TUS) erwärmt.

Ein Indikator für die differierende Fähigkeit des Stationsumfeldes Wärme aufzunehmen, zu speichern und an die Luft abzugeben, ist der unterschiedliche Amplitudenwert der Tagesgangkurve der Lufttemperatur an den einzelnen Stationen. Ein hoher Amplitudenwert bedeutet einen großen Unterschied zwischen Tagesminimum- und Tagesmaximumtemperatur, entsprechend weist eine geringe Amplitude auf einen gedämpften Tagesgang hin.

Die Länge der Amplitude gibt jedoch noch keinen Aufschluss über das Temperaturniveau, bei dem sich die Erwärmung bzw. Abkühlung abspielt. So ist es nicht zwangsläufig, dass an Stationen mit großer Amplitude auch die höchsten Temperaturextreme auftreten.

Um im Stationsvergleich dieses Verhalten zu visualisieren, wurde eine spezielle Darstellungsform entwickelt (siehe Diagramm 4.3.2 : Mittlere monatliche Tagesamplituden – Legende).

Mittlere monatliche Tagesamplituden

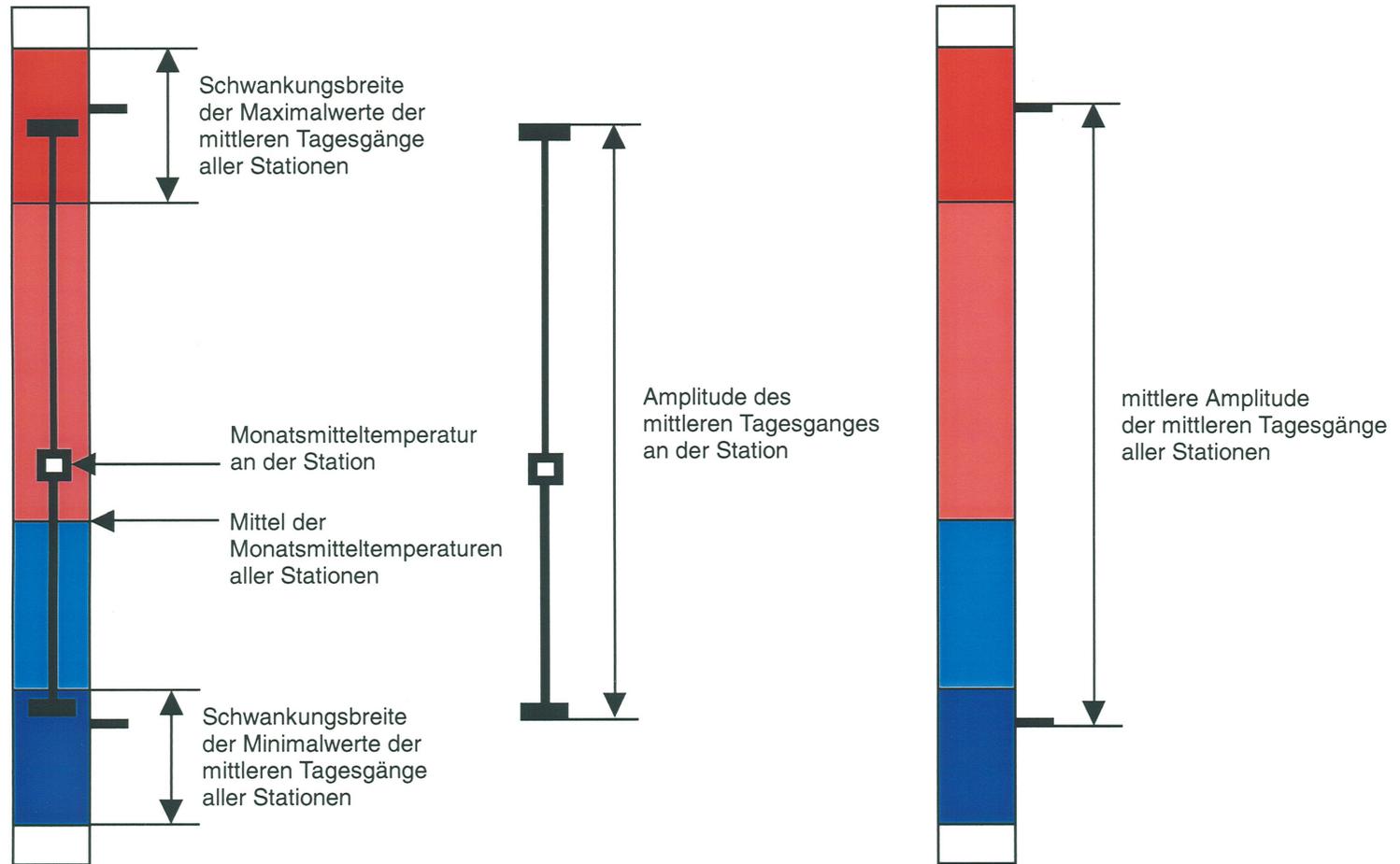


Diagramm 4.3.2 : Mittlere monatliche Tagesamplituden – Legende

Mittlere monatliche Tagesamplituden im August 1993

- 33 -

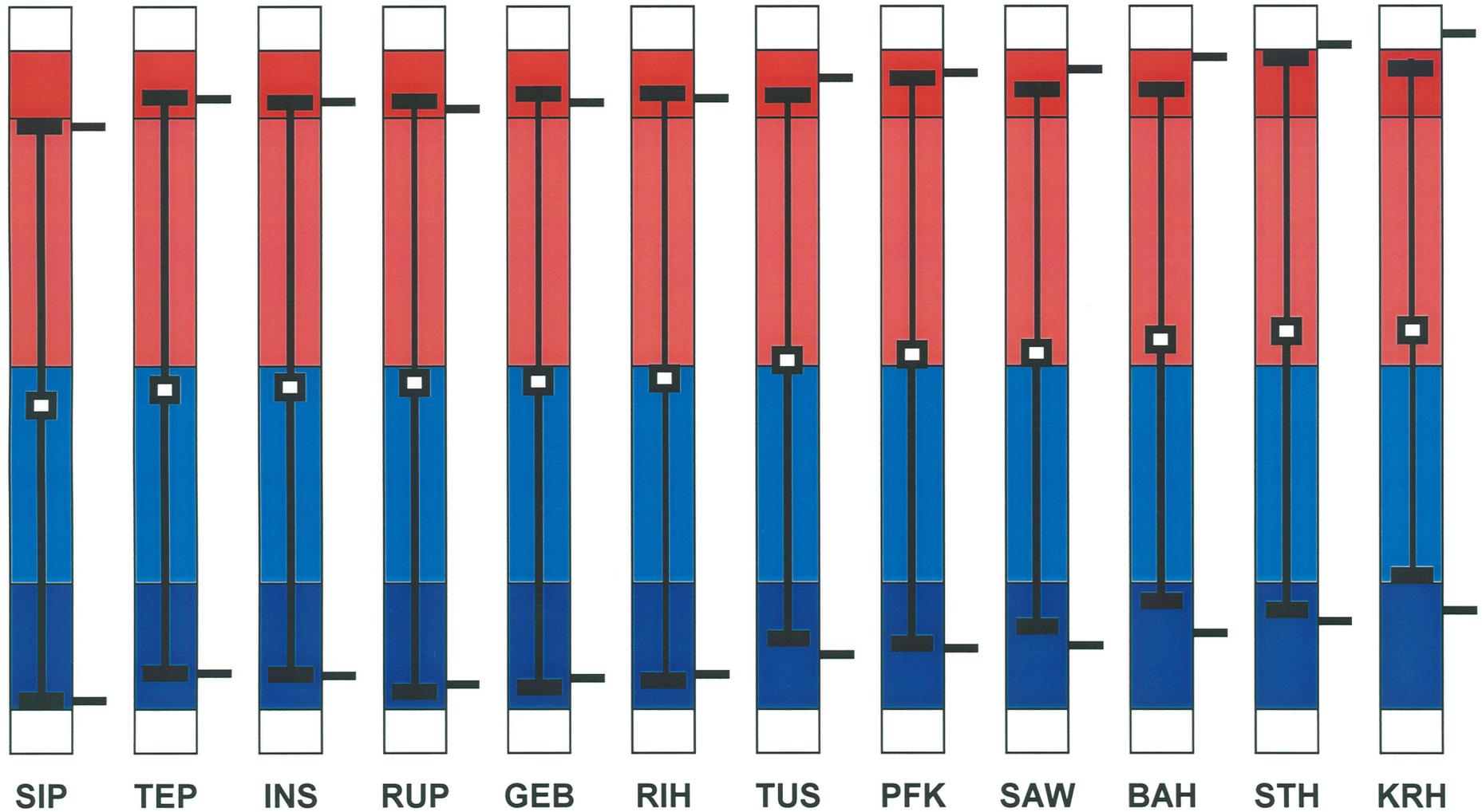


Diagramm 4.3.3 : Mittlere monatliche Tagesamplituden im August 1993

Mittlere monatliche Tagesamplituden im Februar 1993

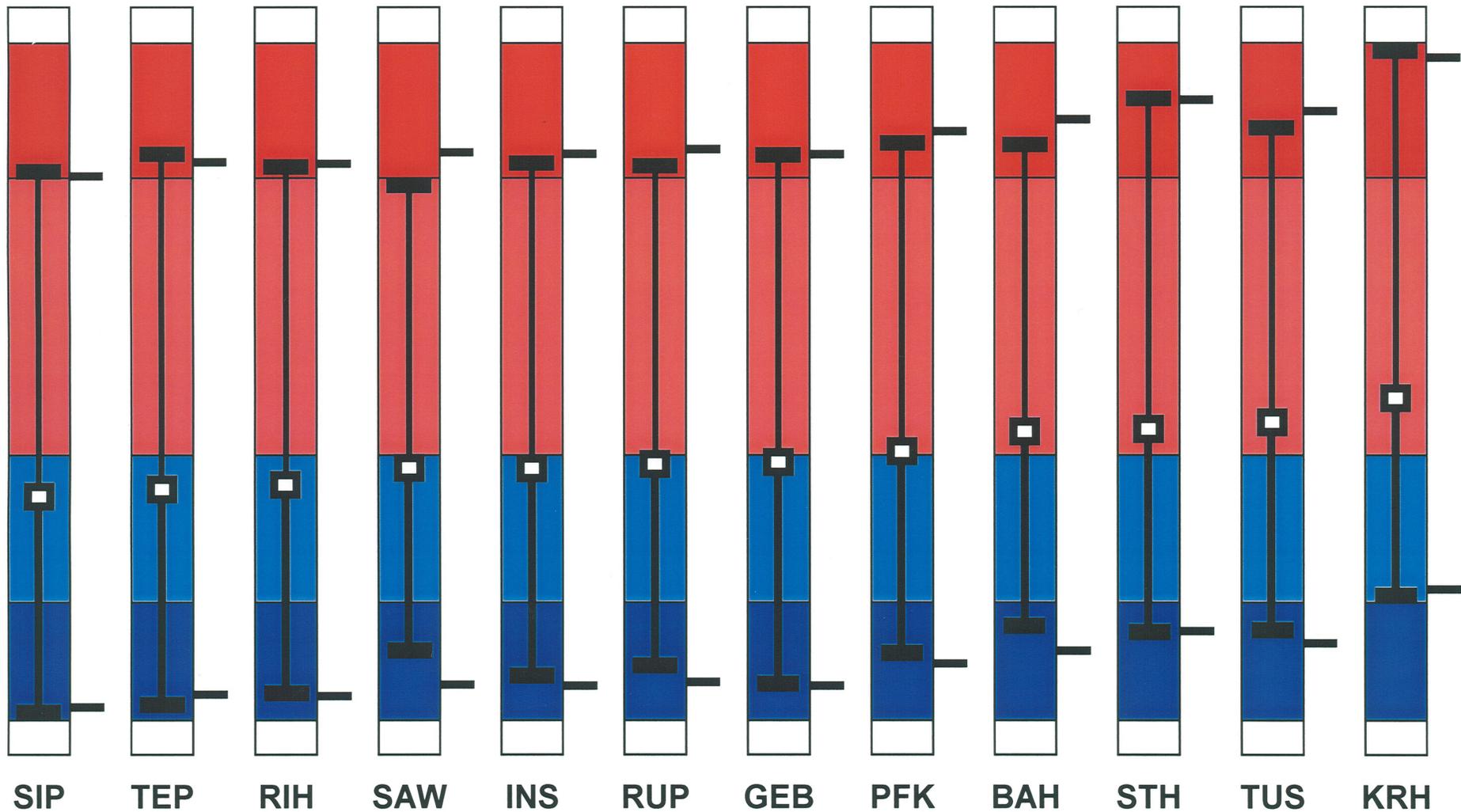


Diagramm 4.3.4 : Mittlere monatliche Tagesamplituden im Februar 1993

Die Amplitude der mittleren monatlichen Tagesgänge an den einzelnen Stationen ist als schwarzer Balken, begrenzt durch die mittleren Tagestemperaturextremwerte, dargestellt. Der Wert der Monatsmitteltemperatur liegt zwischen den begrenzenden Temperaturextremwerten. Er ist als Quadrat auf dem Amplitudenbalken verdeutlicht. Er verschiebt sich bei abnehmender Tageslänge immer weiter in Richtung des Tagestemperaturminimums, da bei der Tagesmitteltemperaturbildung aufgrund der zunehmenden Anzahl an Nachtstunden mehr niedrige Temperaturstundenwerte als hohe ins Mittel zählen. Dies zeigt augenfällig auch der Vergleich der Tagesamplituden vom August 1993 mit denen des Februars des gleichen Jahres. Die mittleren Verhältnisse im Messnetz des jeweiligen Messmonats sind durch die Farbcodierung wiedergegeben. Der Umschlagpunkt von blau nach rot markiert die Lage des Mittels der Monatsmitteltemperaturen aus allen Stationswerten. Die relative Lage des schwarz umrandeten Quadrats zu diesem Punkt spiegelt wider, ob die betrachtete Station eine höhere Monatsmitteltemperatur als das Stationsmittel aufweist oder nicht. Dunkelrot bzw. dunkelblau ist die Schwankungsbreite der Maximumtemperaturwerte im Stationsvergleich bzw. die der Minimumtemperaturwerte eingefärbt. Liegt ein Stationsbalken mit seiner Temperaturmaximummarkierung nahe am oberen Ende des dunkelroten Bereiches, so zählt diese Station zu den wärmsten im Stationsvergleich. Entsprechendes gilt für die Lage des Minimumtemperaturstriches bezogen auf das untere Ende des dunkelblauen Bereiches.

Auf den vergleichenden Darstellungen (Diagramm 4.3.3 : Mittlere monatliche Tagesamplituden im August 1993 und 4.3.4 : Mittlere monatliche Tagesamplituden im Februar 1993) sind die Balken der Stationsamplituden an Hand des Tagesmitteltemperaturwertes der Stationen in aufsteigender Reihenfolge angeordnet.

Um eine Abschätzung der Länge der Tagesamplitude im Vergleich der Stationen zueinander zu erleichtern, sind zusätzlich am rechten Rand der farbigen Balken Markierungsstriche angebracht, die die mittlere Amplitudenlänge aus dem Mittel aller Stationen aufzeigen. Liegt der durchgezogene schwarze Balken mit seinen Grenzstrichen der Temperaturextremwerte innerhalb der Randmarkierungen, so weist diese Station im Stationsvergleich einen gedämpften Temperaturtagesgang auf, werden die Markierungen überschritten, so liegt die Tag/Nacht - Temperaturdifferenz über den mittleren Verhältnissen.

In Diagramm 4.3.3 (Mittlere monatliche Tagesamplituden im August 1993) sind die sommerlichen Gegebenheiten dokumentiert. Die Station Schießplatz (SIP) ist die kälteste Station im gesamten Messnetz. Sie weist bei einer durchschnittlichen Tagesamplitude sowohl die niedrigste Tagesminimumtemperatur und Tagesmaximumtemperatur wie auch deutlich die

geringste Tagesmitteltemperatur auf.

Als in den Nachtstunden signifikant am wärmsten erweist sich die innerhalb dichter Bebauung gelegene Innenstadtstation Krankenhaus (KRH). Aufgrund der dort stark gedämpften Tagesamplitude bleibt sie bei der Tageshöchsttemperatur allerdings noch etwas hinter dem Maximumwert der Station Stadthalle (STH) zurück. Die Länge deren Tagesamplitude ist deutlich größer, wobei sie wie bei allen urbanen Stationen noch immer unter dem Stationsdurchschnitt liegt.

Durch hohe sommerliche Tagesamplituden geprägt sind hingegen die Stationen im landwirtschaftlichen Umfeld (RUP, GEB, RIH und PFK). Während sie im Tagesmaximum z.T. fast das Temperaturniveau der Innenstadt erreichen, kühlen die landwirtschaftlichen Flächen jedoch nachts stark aus.

Generell ist das Auftreten ausgeprägter Temperaturunterschiede in den Nachtstunden im Vergleich zu geringen Tagesunterschieden bezeichnend für die sommerliche Situation im Rheintal. Dies belegt auch der Vergleich der Länge des dunkelblauen Bereiches mit der des dunkelroten. Die Schwankungsbreite bei den Tagesmaximumtemperaturen im Messgebiet ist relativ klein, dies bedeutet, dass im Sommer tagsüber das gesamte Untersuchungsgebiet auf vergleichbar hohem Temperaturniveau liegt. Die signifikanten Temperaturunterschiede in den Nachtstunden hingegen belegen, dass in den Sommermonaten hier thermische Entlastungspotenziale wirksam und nutzbar sind.

Das Bild im Wintermonat Februar (Diagramm 4.3.4 : Mittlere monatliche Tagesamplituden im Februar 1993) ist geprägt durch eine deutlich in Richtung des Temperaturminimums verschobene Tagesmitteltemperatur. Während der kurzen Sonnenscheindauer erhöht sich die Lufttemperatur im Innenstadtbereich und in den Außenbereichen unterschiedlich. Die innerstädtische Wärmeinsel tritt im Winter tagsüber deutlich hervor. Im Gegensatz zur Sommersituation ist die absolute Schwankungsbreite der Stationsextremwerte tags und nachts in der gleichen Größenordnung. Wobei dies am Tag jedoch singulär auf die warme Innenstadtzone zurückzuführen ist. In den Nachtstunden ist die Temperaturabstufung zwischen Innenstadt, Stadtrand und Außenbereichen kontinuierlicher.

Auffällig ist in diesem Zusammenhang der stark gedämpfte Tagesgang bei den durch die Wärmespeicherkapazität der freien Wasserflächen beeinflussten Stationen SAW, TUS, PFK und INS. Dies bewirkt aufgrund der räumlichen Verteilung der Baggerseen und Auegebiete im Winter ein Ost - West Gefälle der Nachttemperaturen. Auf dieses Phänomen weist auch

die unterschiedliche Häufigkeit von Frosttagen hin. Näheres dazu ist im Kapitel 6 :
Klimatologische Schwellwerte zu finden.

4.4 Zusammenfassende Bewertung der thermischen Belastungssituation

Speyer gehört aufgrund seiner Lage im Oberrheingraben zu den wärmsten Gebieten in der Bundesrepublik. Mit einer Jahresmitteltemperatur von über 10°C liegt die Stadt deutlich über dem Landesdurchschnitt. Im Hochsommer ist die Hitzesituation, insbesondere wenn die nächtliche Abkühlung fehlt, für den menschlichen Organismus belastend.

Die Messnetzauswertungen haben ergeben, dass im heißesten Monat nachts durchaus Temperaturunterschiede zwischen der innerstädtischen Wärmeinsel und den städtischen Außenbereichen bis zu 4°C möglich sind. Tagsüber sind die Unterschiede, bedingt durch die generelle Aufheizung des Oberrheingrabens, deutlich geringer.

Die nachgewiesenen nächtlichen Temperaturunterschiede belegen die derzeit noch vorhandene Funktionsfähigkeit von thermischen Ausgleichsmechanismen in den Nachtstunden, die aufgrund ihrer Wirksamkeit schutzwürdige Bedeutung haben. Auf die Klimawirkung der einzelnen Flächen wird im Rahmen der Beschreibung der sommerlichen nächtlichen urbanen Wärmeinsel, kartiert durch Klimamessfahrten, im Späteren nochmals genauer eingegangen.

Die Auswertung der sommerlichen thermischen Tagessituation hingegen zeigt, dass bei der Ausprägung der Tagesmaximumtemperaturen keine großräumigen thermischen Entlastungspotentiale wirksam sind. Vielmehr sollte hier die Möglichkeit zum individuellen Ausgleich durch Aufenthalt in beschatteten Höfen und in Grünanlagen mit hohem Baumbestand gefördert werden. Insbesondere dem Erhalt von Bäumen im Stadtgebiet, auch wenn es sich hierbei im Einzelnen nur um kleine Gruppen oder einzelstehende Exemplare handeln mag, ist unter diesem Gesichtspunkt eine große klimatische Bedeutung zuzuordnen. Weitergehende Empfehlungen sind im Kapitel über die bioklimatischen Entlastungsmöglichkeiten aufgeführt.

5 Relative Luftfeuchte

Die Luftfeuchte beeinflusst in Verbindung mit der Lufttemperatur das Behaglichkeitsempfinden des Menschen maßgeblich. Insbesondere bei hohen Temperaturwerten in Kombination mit hoher Luftfeuchte wird der Wärmehaushalt des menschlichen Körpers erheblich beeinträchtigt (Schwüleempfinden). Aber auch bei niedrigen Temperaturen wird nass-kalte Witterung als viel unangenehmer als trockene Kälte erlebt.

Physikalisch gesehen ist die Luftfeuchte zunächst nur der Wasserdampfgehalt der Luft. Für den Menschen spürbar ist jedoch nicht der absolute Feuchtigkeitsgehalt der Luft, sondern die differierende Fähigkeit der Luft Wasserdampf bis zur Sättigung aufzunehmen, d.h. zu verdunsten.

Feuchte Luft kann weniger Feuchtigkeit bis zur Sättigung aufnehmen als trockene Luft. Dies bedeutet, dass bei hoher Luftfeuchtigkeit nur wenig Wasser verdampfen kann. Feuchte Oberflächen bleiben unter diesen Bedingungen lange feucht, was bei niedrigen Temperaturen als unangenehm empfunden wird, da sich alles klamm anfühlt. Bei hohen Temperaturen wird durch die verminderte Fähigkeit der feuchten Luft zusätzlich weiteren Wasserdampf aufzunehmen der Überhitzungsschutzmechanismus des menschlichen Körpers durch Schwitzen Wärme abzuführen (Erzeugung von Verdunstungskälte an der Hautoberfläche) eingeschränkt. Das Wohlbefinden und die Vitalität nehmen ab.

Da die Wasserdampfsättigung der Luft bei höheren Temperaturen erst später als bei niedrigen eintritt, wird in der Stadtklimatologie anstelle des absoluten Feuchtegehaltes bevorzugt die relative Luftfeuchte als Messgröße eingesetzt. Die relative Luftfeuchte gibt das Verhältnis (in Prozent) des wahren Wasserdampfgehaltes der Luft zu dem bei der jeweils herrschenden Lufttemperatur maximal möglichen an. Sie ist somit eine Maßzahl für die aktuelle Wasserdampfaufnahmefähigkeit der Luft.

5.1 Nutzungsabhängiger Tagesgang der Luftfeuchte

Der Tagesgang der relativen Luftfeuchte ist invers zur Tagestemperaturwelle. Das Tagesminimum der relativen Luftfeuchte wird entsprechend dem Auftreten der Maximumtemperatur am frühen Nachmittag nach Sonnenhöchststand erreicht. In den Nachtstunden ist die relative

Feuchte am höchsten.

Ausgewertet wurden die mittleren monatlichen Tagesgänge der relativen Luftfeuchte aller Stationen. Die Mittelbildung erfolgte analog dem Verfahren, wie es bereits in Kapitel 4.3 bei den Temperaturmessungen näher beschrieben wurde.

Zur Veranschaulichung der Verhältnisse sind in Diagramm 5.1.1 die mittleren Tagesgänge im August 1993, stellvertretend für einen trockenen Sommermonat, und die eines feuchten Wintermonates, Dezember 1992, anhand ausgesuchter Stationen dargestellt. Die Stationsauswahl erfolgte nach dem Kriterium unterschiedlicher Nutzungsumfelder. Station Stadthalle (STH) steht für ein urbanes Umfeld, Station Germansberg (GEB) spiegelt eine stadtnahe Ackerfläche wider, die Stationen Ruppertsackerhof (RUP) und Rinkenberhof (RIH) liegen auf landwirtschaftlichen Nutzflächen im Außenbereich, das Gleiche gilt für die Station Schießplatz, allerdings stehen im Nahbereich Bäume und ihre Lage ist generell walddah. Die Messhütten selbst standen auf Rasen, Grünlandflächen bzw. Feldrandstreifen. Die Aufstellung auf ähnlichen Untergrundbedingungen ist erforderlich, um die für das Nutzungsumfeld charakteristischen klimatischen Verhältnisse unter vergleichbaren mikroklimatischen Einflüssen messtechnisch erfassen zu können.

Im Hochsommer zeigen die Feuchtekurven einen ausgeprägten Tagesgang. Prinzipiell sind in dieser Jahreszeit die Feuchteverhältnisse zwischen Innenstadt und Außenbereich nur geringfügig unterschiedlich.

Lediglich in den Abend- und frühen Nachtstunden verbleibt die Station (STH), geprägt durch ihr städtisches Umfeld, deutlich trockener als alle anderen Stationen. Hier spiegelt sich die Temperaturabhängigkeit der relativen Luftfeuchte wider. Die nächtliche Abkühlung im Stadtbereich erfolgt gegenüber dem Umland verlangsamt, der Anstieg der relativen Luftfeuchte in den Abendstunden ist dementsprechend weniger steil. Während nachts der Feuchteanstieg an den Umlandstationen deutlich abflacht, nimmt die relative Luftfeuchte in der Stadt jedoch weiterhin bis Sonnenaufgang kontinuierlich zu und gleicht sich bis Sonnenaufgang an die Werte stadtnaher Ackerflächen an.

Die niedrigsten relativen Feuchtwerte am Tage weisen im Sommer in Abhängigkeit des Reifegrades der Kulturen ihres landwirtschaftlichen Umfeldes die Stationen Rinkenbergerhof (RIH) und Germansberg (GEB) auf. Ursache hierfür ist die Überhitzung der Ackerflächen auf Grund des eingeschränkten Transpirationsverhaltens insbesondere von gelbreifem Getreide. Die teilweise beschatteten Innenstadtflächen bzw. die landwirtschaftlichen Nutzflächen mit

höherem Grünlandanteil verbleiben vergleichsweise kühler (Stadthalle STH und Ruppertsackerhof RUP). Die Fähigkeit von Pflanzen Feuchtigkeit zu speichern bzw. Wasser aus dem Wurzelraum zu mobilisieren machen sie im Sommer zur wesentlichen Einflussgröße für die Luftfeuchteverhältnisse in Speyer. So zeigt im Vergleich der ausgewählten Stationen der walddnahe Schießplatz mit hohem Baumbestand im Umfeld im Tagesgang durchgehend die höchsten Luftfeuchtwerte.

Dass im Sommer die maßgebliche Regelgröße für die relative Luftfeuchte der Anteil an transpirierenden Pflanzenbeständen ist, veranschaulicht auch der direkte Vergleich der Tagesgänge der beiden innerstädtischen Stationen Stadthalle STH und Krankenhaus KRH (Diagramm 5.1.2 : Mittlerer monatlicher Tagesgang der relativen Luftfeuchte der Innenstadtstationen im Dezember 1992 und August 1993; unteres Diagramm). In den Nachtstunden verlaufen die Feuchtekurven beider Stationen nahezu deckungsgleich. Am Tage hingegen ist die relative Luftfeuchte an der durch dichten Busch- und Baumbestand geprägten Messstelle am Krankenhaus (KRH) um 5% höher.

Die sommerlichen Luftfeuchteverhältnisse in Speyer lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Unterschiede zwischen Tag- und Nachtstunden sind groß, während die Lage, ob im Stadtgebiet oder im Außenbereich, für die relative Feuchtesituation im Sommer (abgesehen von der im Innenstadtbereich verzögerten Feuchtezunahme in den Abendstunden) keine maßgebliche Rolle spielt. Vielmehr ist im Hochsommer das Vorhandensein von transpirierenden (grünen) Pflanzenbeständen ausschlaggebend für lokale Feuchteunterschiede.

In den Wintermonaten hingegen differieren die relativen Luftfeuchtwerte zwischen Stadtbereich und Außenzonen signifikant.

Im Laufe des gesamten Tagesganges sind die Werte der urbanen Wärmeinsel (Station Stadthalle STH und Germansberg GEB) gegenüber den Außenstationen (Schießplatz SIP, Rinkenbergerhof RIH und Ruppertsackerhof RUP) deutlich reduziert.

Ein weiterer Unterschied zwischen den sommerlichen und winterlichen Tagesgängen der relativen Feuchte (Diagramm 5.1.1 : Mittlerer monatlicher Tagesgang der relativen Luftfeuchte repräsentativer Stationen im Dezember 1992 und August 1993) liegt im Verlauf der Kurven. Während im Sommer der Graph der relativen Luftfeuchte fast eine Sinusschwingung aufweist, bleiben die Feuchteverhältnisse im Winter in den Abend- und Nachtstunden lange Zeit nahezu konstant, um nur über die Mittagsstunden kurzzeitig abzunehmen.

Der Einfluss der geringen Tageslänge im Winter bedingt auch eine deutlich kleinere Tagesamplitude, wobei die nächtlichen Feuchtemaxima jahreszeit-unabhängig den gleichen

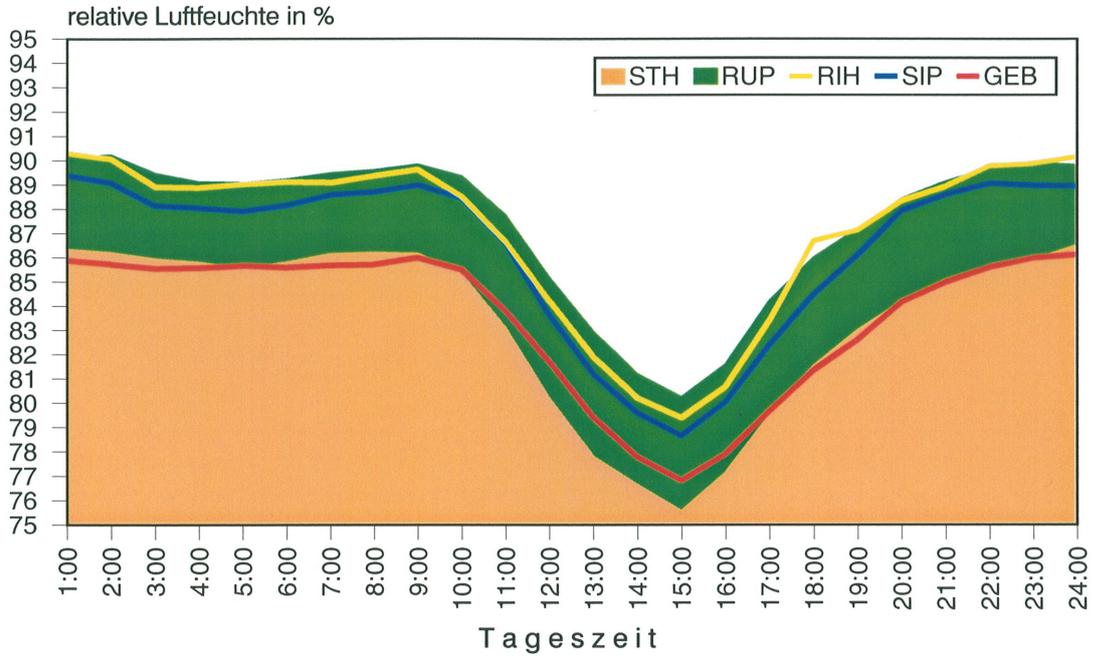
Wertebereich erreichen, die Minima jedoch deutlich im Winter und Sommer von einander abweichen. Tagsüber fällt im monatlichen Mittel im August die relative Feuchte lokal bis auf ca. 40%. Im Dezember werden nicht einmal 75% im mittleren monatlichen Tagesgang unterschritten.

Der Tagesgang der relativen Feuchte im Winter (sowie, wie hier nicht dargestellt, in feuchten Herbst- und Frühjahrsmonaten) zeigt eine weitere Auffälligkeit. Nach Mitternacht tritt eine schwache sekundäre Welle im Feuchteverlauf auf. Dieses Phänomen lässt sich auch in den Untersuchungen zum Stadtklima Mainz nachweisen. Diese kurzzeitige Feuchteabnahme in den frühen Morgenstunden der kühleren Monate ist vermutlich mit der einsetzenden Tau- bzw. Reifbildung zu erklären.

Für das winterliche Bild der relativen Luftfeuchte ergeben sich zusammenfassend als charakteristisch das schmale Tagesmaximum in den frühen Nachmittagsstunden sowie die deutliche Ausprägung des Stadtkerns als relative Trockeninsel. Extrem geschützte Bereiche in Grünanlagen, wie beispielsweise der Standort der Messstelle Krankenhaus KRH, bilden hiervon eine Ausnahme (Diagramm 5.1.2 : Mittlerer monatlicher Tagesgang der relativen Luftfeuchte der Innenstadtstationen im Dezember 1992 und August 1993; oben). Auf Grund der langen Beschattung und der reduzierten Windgeschwindigkeit trocknen hier die durch Tau/Reif oder Niederschlag benetzten Bestandsflächen während der kurzen Zeit zwischen Sonnenauf- und -untergang gar nicht mehr ab.

Mittlerer monatlicher Tagesgang der relativen Luftfeuchte repräsentativer Stationen

im Dezember 1992



im August 1993

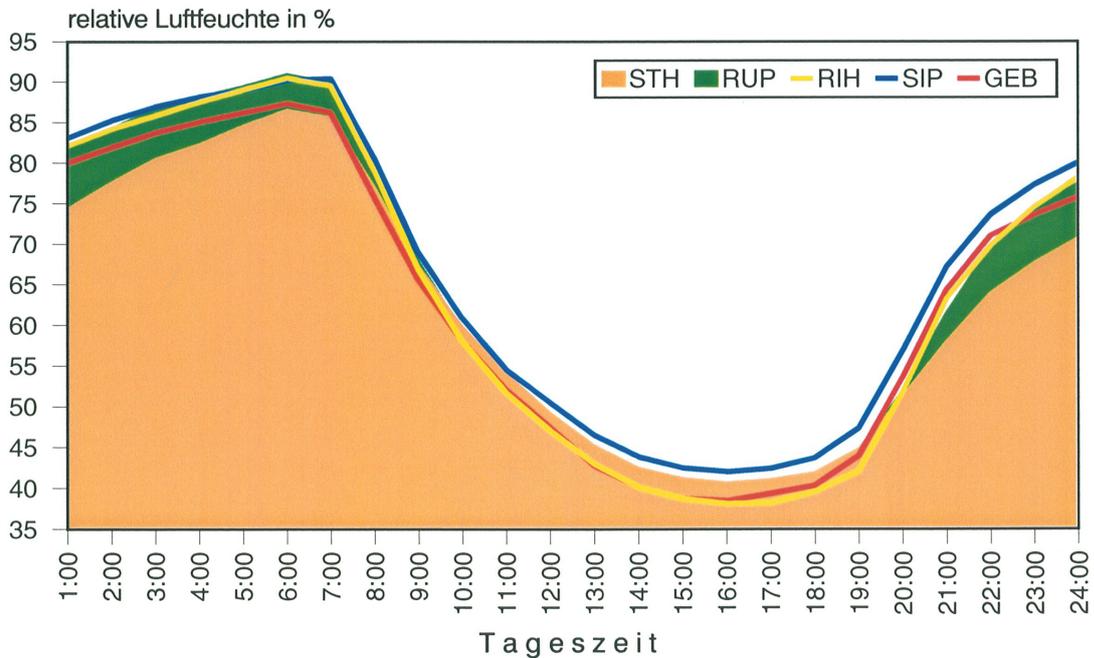
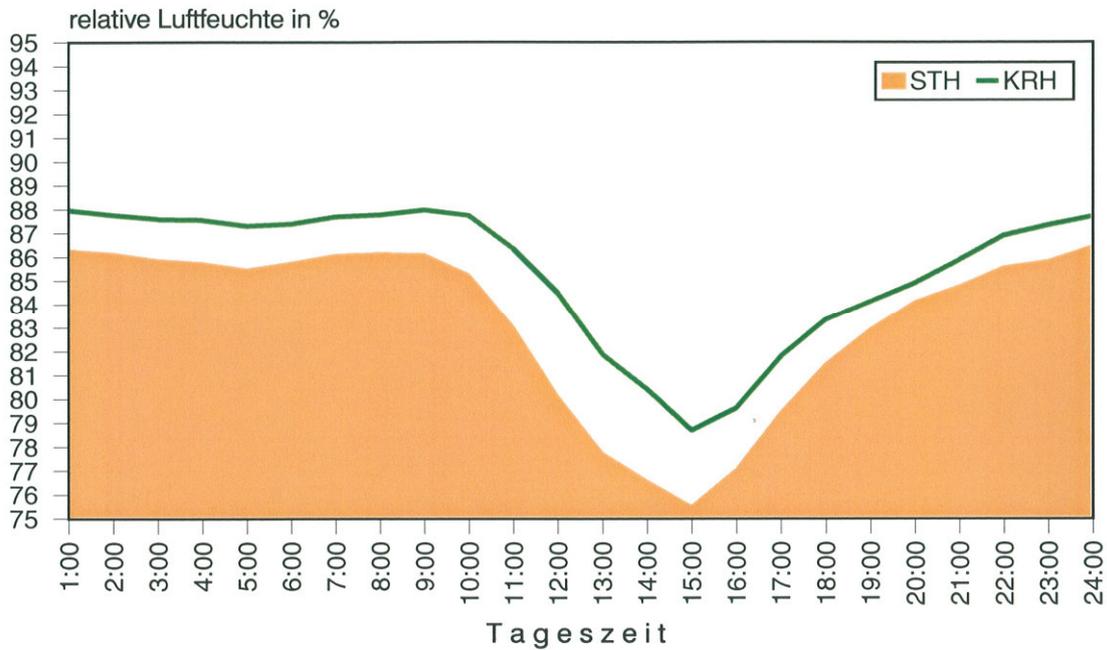


Diagramm 5.1.1 : Mittlerer monatlicher Tagesgang der relativen Luftfeuchte repräsentativer Stationen im Dezember 1992 und August 1993

Mittlerer monatlicher Tagesgang der relativen Luftfeuchte der Innenstadtstationen

im Dezember 1992



im August 1993

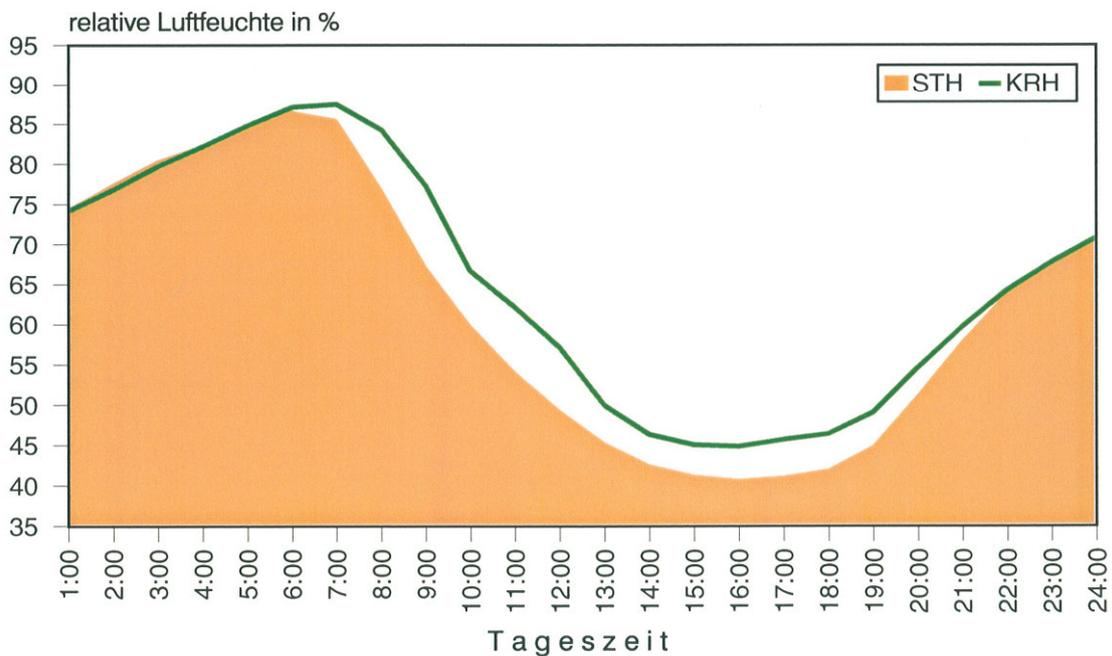


Diagramm 5.1.2 : Mittlerer monatlicher Tagesgang der relativen Luftfeuchte der Innenstadtstationen im Dezember 1992 und August 1993

5.2 Jahreszeitliche Verteilung der mittleren relativen Luftfeuchte im Stadtgebiet

Entsprechend den Unterschieden in den Tagesgängen der relativen Luftfeuchte zwischen Winter und Sommer bildet sich das mittlere Luftfeuchteniveau ebenfalls jahreszeitlich unterschiedlich aus. So ist die mittlere monatliche relative Luftfeuchte im Herbst und im Winter generell signifikant höher als im Frühjahr und Sommer (s. Diagramm 5.2.1 : Jahreszeitmittel der relativen Luftfeuchte 1993).

Allerdings zeigt ein Vergleich der gleichen Monate innerhalb des mehrjährigen Messzeitraums, dass überdurchschnittliche monatliche Niederschlagsspenden, vor allem in der wärmeren Jahreszeit, deutliche Unterschiede im Monatsmittelwert für den betrachteten Monat hervorrufen können. Deshalb erfolgte die jahreszeitliche Mittelung ausschließlich über das klimatologische Jahr 1993 (Dezember 1992 bis November 1993), da dieser Zeitraum in seinen monatlichen Niederschlagssummen die geringsten Abweichungen vom langjährigen Mittel aufweist (vgl. Diagramm 5.2.2 : Niederschlag an der Station Speyer und Diagramm 5.2.3 : Abweichungen des Niederschlages vom Mittel 1951 - 1980).

Jahreszeitmittel der relativen Luftfeuchte 1993

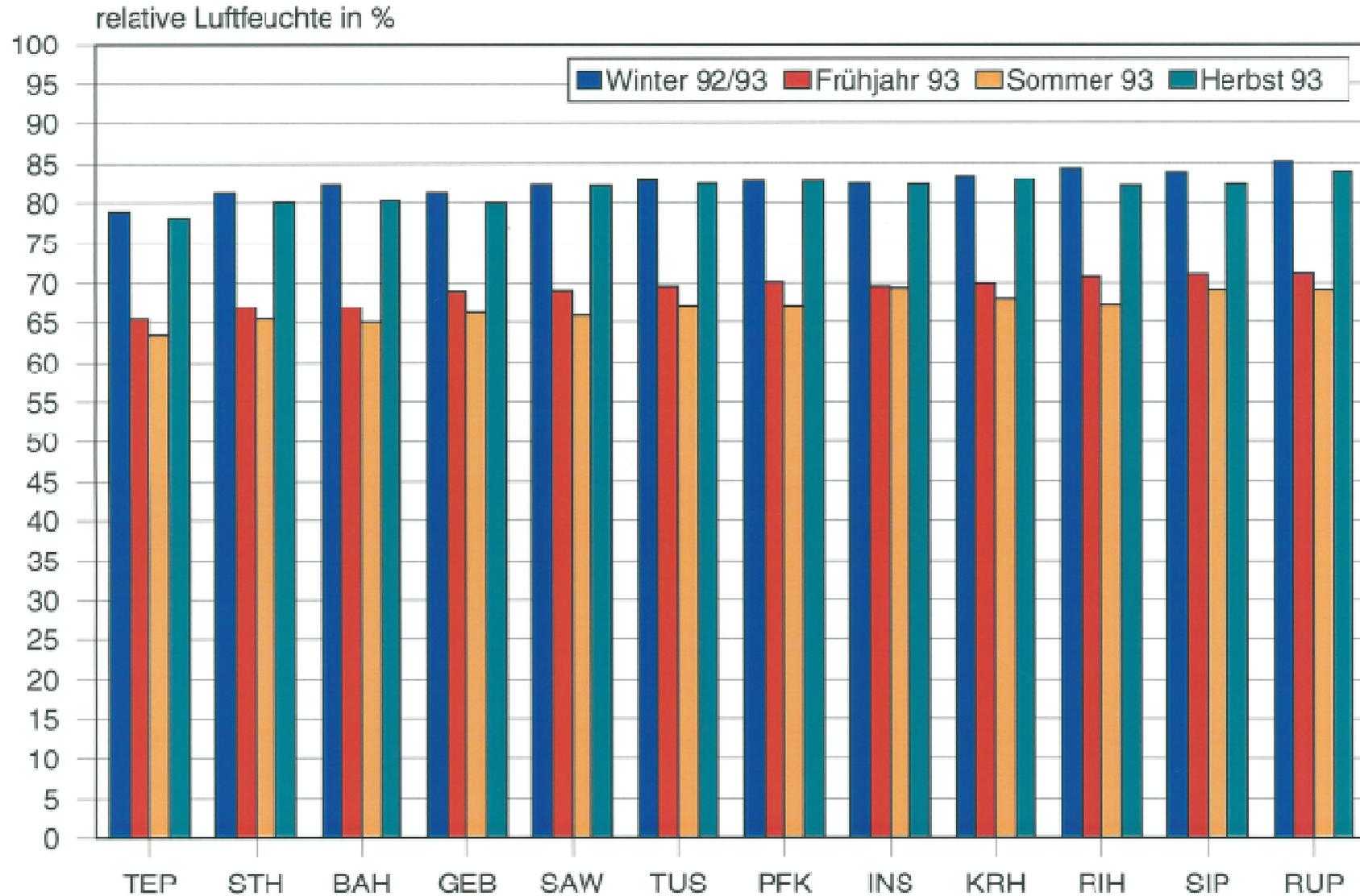
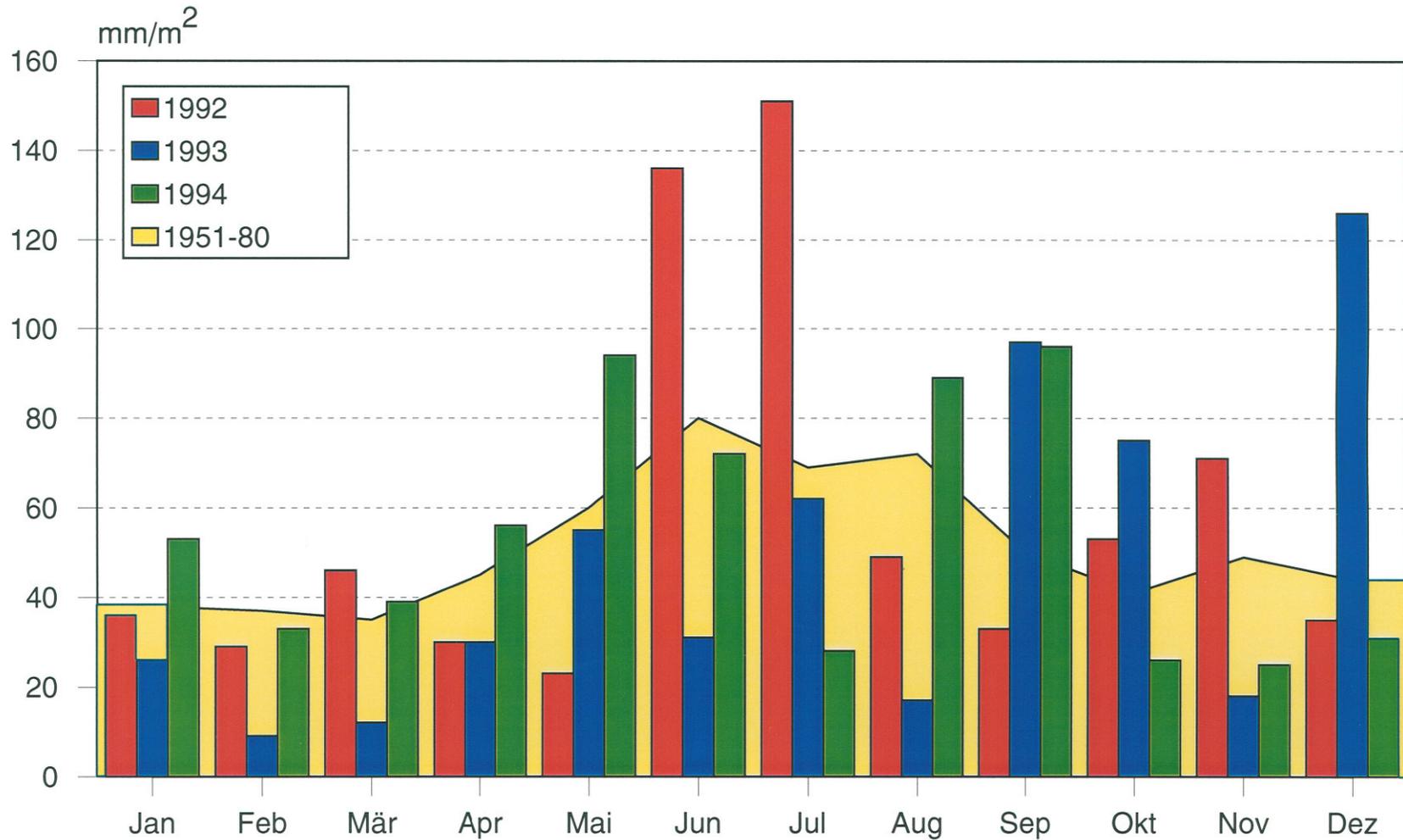


Diagramm 5.2.1 : Jahreszeitmittel der relativen Luftfeuchte 1993

Niederschlag

an der Station S P E Y E R 99 müNN

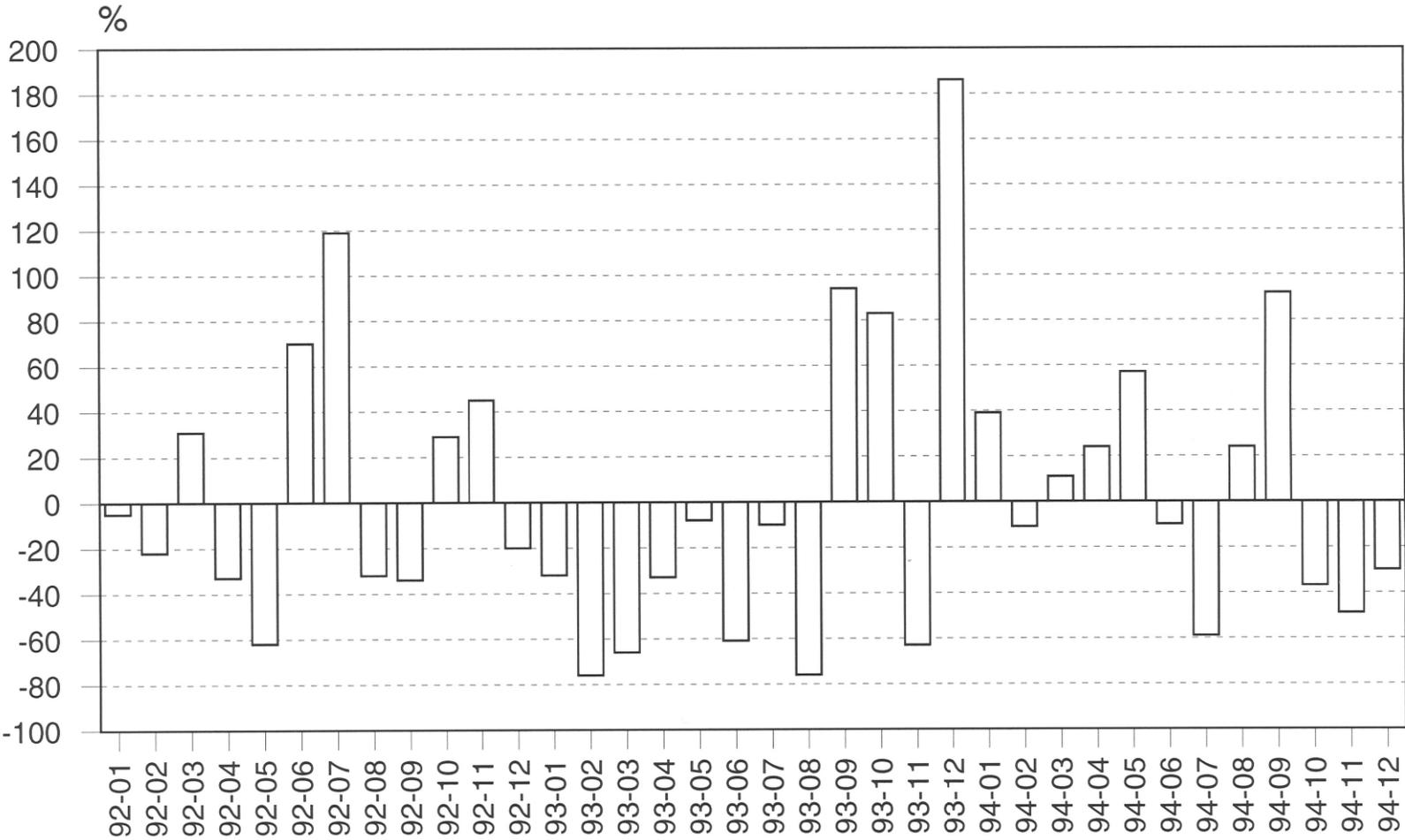


Daten aus: Deutscher Wetterdienst: Monatlicher Witterungsbericht, ISSN 0435-7965

Diagramm 5.2.2 : Niederschlag an der Station Speyer

Abweichungen des Niederschlages vom Mittel 1951-1980

an der Station SPEYER 99 mÜNN



Daten aus: Deutscher Wetterdienst: Monatlicher Witterungsbericht, ISSN 0435-7965

Diagramm 5.2.3 : Abweichungen des Niederschlages vom Mittel 1951 – 1980

Die Jahreszeitmittel entsprechen, wie bereits bei der Temperatúrauswertung, einer Mittelbildung der Monate Dezember/Januar/Februar für den Winter sowie der vollständigen Monate März/April/Mai/ für das Frühjahr. Zum Sommer zählen Juni, Juli und August. Die verbleibenden Monate September, Oktober und November ergeben den Herbst. Die auf diese Weise gebildeten Jahreszeitmittel für die einzelnen Stationen sind der folgenden tabellari-schen Übersicht zu entnehmen. Zusätzlich aufgenommen ist in der letzten Zeile das Mittel über das vollständige klimatologische Jahr (Dezember 1992 bis November 1993).

Rel. Feuchte in %	TEP	STH	BAH	GEB	SAW	TUS	PFK	INS	KRH	RIH	SIP	RUP
Winter	78.9	81.2	82.2	81.2	82.2	82.2	82.7	82.4	83.4	84.4	83.9	85.2
Frühling	65.4	66.9	66.9	68.9	69.0	69.5	70.1	69.5	69.9	70.7	71.0	71.1
Sommer	63.4	65.4	65.0	66.2	65.8	67.1	67.1	69.3	68.0	67.3	69.1	69.1
Herbst	78.1	80.1	80.3	80.0	82.1	82.4	82.7	82.3	83.0	82.1	82.3	84.0
Klimat. Jahr	71.5	73.4	73.6	74.1	74.8	75.5	75.7	75.9	76.1	76.1	76.6	77.4

Eine Sonderstellung nimmt, wie bereits bei den Lufttemperaturen, die Station Tennisplatz (TEP) aufgrund ihrer Untergrundverhältnisse ein. Ihr Standort auf einer Sanddüne bedingt über den gesamten Jahresgang hinweg eine um ca. 2% geringere mittlere Luftfeuchte. Da es sich hierbei um einen reinen Untergrundeinfluss des Messstandortes handelt, sollen um einer Verfälschung des Gesamtbildes vorzubeugen bei den folgenden Betrachtungen die Feuchtemessungen an diesem Standort nicht weiter in Betracht gezogen werden.

Die Anordnung der Stationen erfolgte in aufsteigender Reihenfolge ihres Jahresmittelwertes. Signifikant die geringsten relativen Feuchten (abgesehen von der Station Tennisplatz TEP) weist über das ganze Jahr hinweg die im versiegelten Umfeld liegende Innenstadtstation Stadthalle (STH) auf. Die höchsten jahreszeitlichen relativen Feuchtwerte wurden an der Station Ruppertsackerhof (RUP) gemessen.

Für eine differenzierte Analyse der räumlichen relativen Luftfeuchteverteilung ist jedoch diese jahreszeitliche Mittelbildung in ihrer Aussage verwischend. Wie die vorangegangene Auswertung der Unterschiede in den Tagesgängen an den einzelnen Stationen bereits einsichtig gezeigt hat, sind die Nutzungsunterschiede im Nahfeld der Messstellen von signifikantem Einfluss auf die relative Luftfeuchte. In den Vegetationsmonaten ist der Anteil

an transpirierenden Pflanzenbeständen die maßgebliche Regelgröße für die sich einstellenden Luftfeuchteverhältnisse. Diesem Sachverhalt kann ein Jahreszeitmittel über unterschiedliche Wachstums- und Reifezustände, insbesondere der Kulturfrüchte, hinweg nicht gerecht werden. Für den räumlichen Vergleich wurden deshalb stattdessen in Karte 5.2.1, Karte 5.2.2 und Karte 5.2.3 stellvertretend für die unterschiedlichen Vegetationszustände die Monate Dezember 1992, Mai 1993 und August 1993 herausgegriffen. Die Messwerte an der Station Tennisplatz bleiben, wie oben bereits angesprochen, in den Darstellungen unberücksichtigt.

Karte 5.2.1 (Relative Luftfeuchte im Dezember 1992) zeigt die winterlichen, kahlen Verhältnisse. Die Pflanzentranspiration spielt in dieser Jahreszeit keine Rolle. Die Temperaturabhängigkeit der relativen Luftfeuchte prägt maßgeblich die räumliche Struktur. Entsprechend ihrem erhöhten Temperaturniveau weisen die Stationen im urbanen Umfeld bzw. in der Nähe größerer Wasserflächen geringere relative Luftfeuchtwerte auf. Das gesamte Stadtgebiet zuzüglich der Aue- und Baggerseegebiete bildet eine weiträumige relative Trockeninsel.

Im Mai (Karte 5.2.2 : Relative Luftfeuchte im Mai 1993) ist im Rheingraben die Vegetation voll entfaltet. Alle Pflanzenbestände sind grün. Zwar hat die potentielle Verdunstung erst im Juni ihr Maximum, die eingestrahelte Sonnenenergie reicht jedoch bereits zur Erzielung hoher Verdunstungssummen aus. Dort wo das Umfeld „grün“ ist, liegen auch die Luftfeuchtwerte hoch. Gibt es im Umfeld der Messstationen viele versiegelte Flächen, so kann nicht so viel Feuchtigkeit verdunsten, wie auf Grund der eingestrahelten Energie möglich wäre. Die relative Luftfeuchtigkeit ist geringer. Im Monat Mai schrumpft die relative Trockeninsel auf das stark versiegelte Innenstadtgebiet.

Mit zunehmendem Reifegrad nimmt die Pflanzentranspiration ab. Die landwirtschaftlichen Nutzflächen mit reifen Kulturen verhalten sich bezüglich ihrer Verdunstungsfähigkeit wie die versiegelten Flächen des Stadtgebietes.

Im Augustbild (Karte 5.2.3 : Relative Luftfeuchte im August 1993) erscheinen nur noch die Grünlandstationen sowie die Stationen mit Baum- und Buschbestand im Vergleich zu der versiegelten Innenstadt als relativ feucht.

5.3 Zusammenfassende Bewertung der Feuchtesituation

Die in Speyer gemessenen relativen Luftfeuchtwerte entsprechen denen der weiteren Städte im Oberrheingraben (Mainz, Mannheim etc.). Diese Werte sind zwar im Vergleich zu Städten im Küstenbereich und zu ländlichen Regionen relativ niedrig, in Kombination mit den regional und anthropogen bedingten sehr hohen Sommertemperaturen und der Häufigkeit von windschwachen Lagen ist die Schwülebelastung (vgl. Kap. 6.3 : Stunden mit Schwülebelastung) jedoch erheblich höher.

Das räumliche Bild der relativen Feuchteverteilung von Speyer variiert in Abhängigkeit des Vegetationsstandes.

In der vegetationsarmen Jahreszeit erscheint das gesamte Stadtgebiet zuzüglich der Auen- und Baggerseegebiete auf Grund ihres erhöhten Temperaturniveaus als ausgedehnte Trockeninsel.

In den Monaten mit hoher potentieller Verdunstung ist der Anteil an transpirierenden Pflanzenbeständen die maßgebliche Regelgröße für die relative Luftfeuchtigkeit. So weisen landwirtschaftliche Nutzflächen mit beispielsweise gelbreifem Getreide die gleichen niedrigen relative Feuchtwerte auf wie urbane versiegelte Flächen wohingegen innerstädtische Grünanlagen mit Baumbestand auf gleichem Niveau liegen, wie waldnahe Stationen.

Im Winter und Sommer ist die Differenz in den relativen Feuchtwerten zwischen relativer innerstädtischer Trockeninsel und feuchten Außengebieten in vergleichbarer Größenordnung, und zwar beim Monatsmittelwert bei ca. 4% relativer Luftfeuchte (bei Berücksichtigung der Station Tennisplatz TEP 6%). Damit ist der Differenzwert im Sommer im Vergleich mit der aus der Literatur /4/ bekannten Spannweite von bis zu 10% relativer Luftfeuchte eher gering.

6 Klimatologische Schwellwerte

Die Schwellwertstatistiken geben eine Aussage über die Häufigkeit des Auftretens klimatologisch relevanter bzw. bemerkenswerter Klimasituationen innerhalb eines Jahres. Die Auszählung erfolgt im Regelfall tageweise.

Zur Charakterisierung der klimatologischen Schwellwerte der Temperatur finden üblicherweise folgende Begriffe Verwendung.

Als Sommertage bezeichnet man solche Tage eines Jahres, an denen die Temperatur über 25°C ansteigt. Überschreitet die Lufttemperatur sogar die 30°C-Marke, so wird dieser Tag zusätzlich als heißer Tag gewertet.

Analog spricht man in der kalten Jahreszeit von einem Eistag, wenn die Temperatur den ganzen Tag unter 0°C verbleibt. Um hingegen als Frosttag zu gelten, genügt es, dass die Minimumtemperatur die 0°C-Grenze unterschreitet.

Eine stationsweise Auszählung der Tage entsprechend den genannten Definitionen für das Jahr 1993 im Vergleich zu Mannheim enthält die Klimatafel Speyer (Tab. 6.0 : Klimastatistik Speyer 1993). Zusätzlich in dieser Klimatafel angegeben sind das Datum des Tages mit der absoluten Maximumtemperatur des Jahres bzw. der absoluten Minimumtemperatur sowie die hierbei gemessenen Werte.

SPEYER 1993

Station		Lufttemperatur					Anzahl der Tage				Anzahl der Stunden mit Schwüle	Relative Feuchte in %
Nr.	Ken-nung	Mittel °C	MAX °C	Datum	MIN °C	Datum	heiße Tage	Sommertage	Frosttage	Eistage		
1	RIH	10,4	34,5	30.07.	-14,5	04.01.	18	59	79	17	310	76
2	SAW	10,7	34,0	30.07.	-13,0	04.01.	20	60	69	18	373	75
3	TEP	10,2	34,7	30.07.	-14,4	04.01.	23	61	83	17	209	72
4	TUS	10,9	32,7	30.07.	-13,4	04.01.	20	60	63	13	366	75
5	BAH	11,0	33,8	30.07.	-13,3	04.01.	18	61	61	14	375	74
6	PFK	10,7	34,1	30.07.	-13,7	04.01.	23	66	67	15	386	76
7	SIP	10,1	33,5	30.07.	-14,4	04.01.	13	55	79	16	298	76
8	STH	11,1	33,6	30.07.	-11,9	04.01.	25	71	61	14	452	73
9	KRH	11,1	33,4	30.07.	-10,4	04.01.	24	68	58	13	522	76
10	RUP	10,4	34,5	30.07.	-13,3	04.01.	16	57	74	14	358	77
11	GEB	10,4	33,2	30.07.	-12,3	04.01.	16	61	75	14	307	74
12	INS	10,5	33,3	30.07.	-12,3	05.01.	13	60	66	16	367	76
Minimum		10,1	32,7	-	-14,5	-	13	55	58	13	209	72
Maximum		11,1	34,7	-	-10,4	-	25	71	83	18	522	77
MANNHEIM		<i>10,7</i>	<i>32,9</i>	<i>30.07.</i>	<i>-11,3</i>	<i>04.01.</i>	<i>14</i>	<i>62</i>	<i>76</i>	<i>15</i>	-	<i>72</i>

MANNHEIM = Wetterwarte, 96 müNN; Daten aus: Deutscher Wetterdienst: Monatlicher Witterungsbericht, ISSN 0435-7965

Messhöhen: Speyer: 0,7 m / Mannheim: 2,0 m
 Die unterschiedlichen Messhöhen bedingen bei den Jahresmaxima von Speyer bis zu 0,3 °C **höhere** Temperaturen, bei den Jahresminima bis zu 0,1 °C **niedrigere** Temperaturen !

Tab. 6.0 : Klimastatistik Speyer 1993

6.1 Sommertage und heiße Tage

Auf der Karte der Sommer- und heißen Tage in Karte 6.1 ist die Schwellwertstatistik für das Messjahr 1993 räumlich visualisiert. Die Zahl der Sommertage an den einzelnen Stationen ist als farblich unterlegte Scheibe entsprechenden Durchmessers angelegt. Der Farbkeil wechselt mit sinkender Tagesanzahl von rot nach gelb. Die Zahlen in den Innenkreisen bedeuten die Anzahl an heißen Tagen.

Spitzenreiter sowohl bei den heißen wie auch bei den Sommertagen ist die Innenstadt.

Die geringste Anzahl an heißen Tagen weisen die Stationen Schießplatz (SIP) (Einfluss des nahen Waldes) und Industriegebiet (INS) (Aueinfluss) auf. Dort gibt es im Jahresverlauf fast nur halb so viele heiße Tage wie im Stadtkern. Dies unterstreicht die Bedeutung der stadtnahen Wald- und Auegebiete für die Naherholung als wirksames Mittel zur individuellen Entlastung bei thermischem Stress. Die relativ hohe Anzahl an Hitzetagen der Messstelle Tennisplatz (TEP) steht hierzu nicht in Widerspruch, da diese Station auf Grund ihres Standortes auf einer Sanddüne, wie bereits mehrfach angesprochen, eine Sonderstellung inne hat, und nicht als charakteristisch für die Waldverhältnisse angesehen werden darf.

Bei den Sommertagen ist eine kontinuierliche Abnahme der Anzahl von der Innenstadt hin zu den Außenbereichen zu verzeichnen. Wobei im Westen des Stadtgebietes weniger Sommertage auftreten als auf der dem Rhein zugewandten Seite, die in der Mehrzahl der Tage im Bereich der urbanen Abwärme“fahne“ liegt (vgl. Kap. 9.1 : Windrichtungsverteilung).

Der relative Unterschied in der Anzahl der Sommertage zwischen Innenstadt und Außenbereichen ist jedoch deutlich geringer als bei der Auftretenshäufigkeit von heißen Tagen. So liegt die Anzahl an der Station mit den wenigsten Sommertagen nur um 20% unter der des Stadtkerns.

6.2 Frost- und Eistage

Die kartographische Darstellungsform der Schwellwertstatistik für die Frost- und Eistage in Karte 6.2 entspricht der Visualisierung der Sommer- und heißen Tage. Die Farbskalierung für die Anzahl der Frosttage geht mit steigender Zahl von gelb nach grün in blau über.

Die Innenstadt weist sowohl die geringste Anzahl an Eis- wie auch an Frosttagen auf.

Im Gegensatz zu den heißen Tagen ist der Unterschied bei den Eistagen zwischen Stadtkern und Außenbereichen wenig ausgeprägt. Die Messstellen mit der höchsten Anzahl an Eistagen sind die Außenstationen Sanddornweg SAW, Rinkenbergerhof RIH und Tennisplatz TEP, gefolgt von den Messorten Schießplatz SIP und Industriegebiet INS. Die ebenfalls im Außenbereich gelegene Station Ruppertsackerhof RUP bleibt auf Grund der besseren Ventilation an nicht so vielen Tagen im Dauerfrost.

Bei der Häufigkeit der Tage mit Nachtfrost hingegen zeichnet sich deutlich der Einfluss der städtischen Abwärme und der höheren Wärmespeicherkapazität der großen Wasserflächen ab (siehe gelbe und grüne Scheiben).

6.3 Stunden mit Schwülebelastung

Schwüle wird subjektiv empfunden. Das Schwüleempfinden des Menschen basiert auf einem unangenehmen Gefühl von Wärme und feucht-klebriger Haut und Kleidung. Maßgeblich hierfür ist, dass vom menschlichen Körper Schweiß abgesondert wird, der nicht in ausreichendem Maße abgeführt wird. Wann dieser Zustand eintritt, kann nicht allein aus den meteorologischen Bedingungen abgeleitet werden. Es bedarf zusätzlich der Einbeziehung des Gesamtenergieumsatzes des menschlichen Körpers. Diese Energiebilanz ist jedoch individuell und tätigkeitsabhängig sehr unterschiedlich. Um die Wirkung der atmosphärischen Umgebungsbedingungen auf das thermische Behaglichkeitsempfinden des Menschen bewerten zu können, wurden in der Human-Biometeorologie komplexe Rechenmodelle entwickelt, die eine Prognose der mittleren thermischen Empfindung zulassen. Unter der Annahme der physischen Konstitution eines Standardmenschen wird in Abhängigkeit von Bekleidung und Aktivität aus den meteorologischen Faktoren Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur (summarische Wirkung der direkten und reflektierten Solarstrahlung

sowie der Wärmestrahlung der Atmosphäre, des Bodens und umgebender Baukörper), Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit ein Behaglichkeitsindex (PMV – Predicted Mean Vote) bzw. eine physiologische äquivalente Temperatur (PET) errechnet. Die Berechnungsverfahren sind in der Richtlinie VDI 3787, Blatt 2, /5/ näher erläutert. Der große Nutzen dieser Verfahren liegt darin, dass mit ihnen in der Stadt- und Freiraumplanung Maßnahmen, wie z.B. die Anordnung und Gestaltung von Baukörpern, die Anpflanzung von Bäumen bzw. die Begrünung einzelner Fassaden variiert werden können und die Effizienz ihrer Wirkung auf das thermische Wohlbefinden der Bevölkerung abgeschätzt werden kann.

Für die Schwellwertstatistik in Karte 6.3 (Jahresstunden mit Schwüle 1993) wurde allerdings auf eine weitaus weniger komplexe Maßzahl zurückgegriffen. Das verwendete Schwülekriterium der Grenzäquivalenttemperatur ($T_{eq} > 50^{\circ}\text{C}$) kann zwar nur die relativen bioklimatischen Unterschiede allein auf Grund der unterschiedlichen räumlichen Temperatur- und Feuchteverhältnisse im Stadtgebiet ausweisen. Die daraus ableitbaren Aussagen sind trotzdem planerisch relevant, insofern sie allein schon bedingt durch die getroffene Standortwahl der Messstellen des Messnetzes die eher durch Reflex- und Wärmestrahlung von Baukörpern bzw. durch Beschattung unbeeinflussten Verhältnisse widerspiegeln. Hierdurch ist eine relative Vergleichbarkeit der Schwülebelastung gewährleistet, wobei bei der Wertung der Häufigkeitsangaben allerdings nicht aus dem Auge gelassen werden darf, dass die individuelle Belastung auf Grund des human-bioklimatischen Wirkungskomplexes lokal, insbesondere im Einflussbereich besonnener versiegelter, horizontaler und vertikaler Flächen (z.B. auf der Sonnenseite von Straßenschluchten) und bei schlechter Durchlüftung, wesentlich höher und häufiger ist.

Die Auszählung der Überschreitungshäufigkeit der Grenzäquivalenttemperaturmarke von 50°C erfolgte an Hand der Stundenmittelwerte. Die in den farblich unterlegten Kreisen angegebenen Werte entsprechen der Anzahl der Überschreitungsstunden. Der Kreisdurchmesser variiert mit der Höhe dieser Zahlenwerte.

Die Größe des Radius der innerstädtischen Kreise macht die anthropogene Verstärkung der Schwülebelastung deutlich sichtbar. Im baulich verdichteten und schlecht durchlüfteten Innenstadtkern wird in ungefähr doppelt so vielen Jahresstunden die Schwülemarke überschritten.

Die hohe Brisanz dieses Ergebnisses wird noch offensichtlicher, wenn man berücksichtigt, dass dieses Bild lediglich als eine Abschätzung der Grundbelastung zu werten ist, die reale Schwülebelastung in der Innenstadt jedoch, wie oben näher erläutert, oftmals darüber liegt.

Hieraus wird ersichtlich, dass Maßnahmen zur Steigerung des thermischen Behaglichkeitsempfindens für die Bewohner der Innenstadt für eine vorsorgende Städteplanung von großer Bedeutung sind. Ein geeignetes Mittel, um beispielsweise die zusätzlich belastende Strahlungstemperatur zu senken, ist die gezielte Begrünung von Fassaden sowie die Anpflanzung schattenspendender Bäume. Da dies nur vereinzelt möglich sein wird, ist es um so wichtiger vorhandene thermische Naherholungszonen gut anzubinden bzw. in fußläufiger Entfernung auszubauen bzw. neu zu entwickeln.

7 Bioklimatische Entlastungsmöglichkeiten

Die regionalklimatische Belastung in Speyer ist im Sommer am höchsten, wobei vor allem die für die Sommermonate im Rheingraben charakteristischen Episoden mit mehrtägigen hohen Temperaturen und gleichzeitiger Schwüle bei Fehlen kühlender Winde und geringer nächtlicher Abkühlung das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit der dort lebenden Menschen mindern.

Lokal wird diese den menschlichen Organismus belastende Situation im Stadtgebiet von Speyer durch Stadtklimaeffekte zusätzlich verstärkt (vgl. Kap. 2 : Bioklimatische Belastungssituation im Oberrheingraben, Kap. 4.4 : Zusammenfassende Bewertung der thermischen Belastungssituation und Kap. 6.3 : Stunden mit Schwülebelastung).

Um so wichtiger ist es, noch vorhandene, auf das Stadtgebiet entlastend wirkende, klimatisch aktive Gebiete zu schützen bzw. zu entwickeln und Möglichkeiten zur individuellen bioklimatischen Entlastung für die Bürger zu fördern.

Da die Entlastungsmechanismen am Tag und in der Nacht differieren, sollen im Folgenden die bioklimatischen Entlastungsmöglichkeiten für die Tages- und Nachtstunden getrennt behandelt werden.

7.1 Tagessituation

Die Auswertung der zweijährigen Messreihen des Klimamessnetzes im Hinblick auf die sommerliche Tagessituation haben gezeigt, dass tagsüber im gesamten Stadtgebiet eine einheitlich „warme Suppe“ herrscht. Daraus ist zu folgern, dass thermische Entlastungsgebiete, die eine positive Auswirkung auf die Ausprägung der sommerlichen Tagesmaximumtemperaturen einzelner Stadtgebiete haben, in Speyer kaum wirksam sind.

Aus den geringen Unterschieden bei den Tageshöchsttemperaturen darauf zu schließen, dass an Sommertagen überall in der Stadt die bioklimatische Belastung gleich groß ist, wäre allerdings ein Fehlschluss, da das thermische Behaglichkeitsempfinden des Menschen nicht allein von der Höhe der Lufttemperaturwerte bestimmt wird.

Als besonders unangenehm wird vom Menschen Schwüle empfunden (vgl. Kap. 6.3 : Stunden mit Schwülebelastung), d.h. wenn zusätzlich zu hohen Temperaturen hohe Luftfeuchtwerte

treten. Dies ist im Oberrheingraben im Sommer häufig der Fall. Maßgeblich für die sehr differenzierte bioklimatische Belastungssituation an Sommertagen in Speyer ist allerdings die unterschiedliche Ausprägung einer weiteren Einflussgröße auf das menschlichen Schwüleempfinden, die sogenannte Strahlungstemperatur. Sie ist besonders hoch, wenn der Mensch starker Solarstrahlung ausgesetzt ist, sei es in Form direkter Sonnenstrahlung oder als Reflexstrahlung von Gebäudeoberflächen. Noch weiter verstärkt wird sie durch die Wärmestrahlung, emittiert von durch die Sonne aufgeheizte Gebäude- und Straßenflächen. Die Strahlungstemperaturen variieren sehr kleinräumig. Auf der besonnten Seite von baulich geschlossenen Straßenzügen erreichen sie Maximalwerte, wohingegen Bereiche mit schattenspendendem Baumbestand als deutlich angenehmer empfunden werden. Generell sind Gebiete lockerer Bebauung klimatologisch bevorzugt, da dort die Reflektionen an Gebäudeflächen sowie die Wärmeabstrahlung der Bausubstanz wesentlich geringer ist. Zusätzlich kommt hinzu, dass der Wind nicht so stark behindert wird wie bei dichter Bebauung. Aber auch bei der geschlossenen Innenstadtbauung kann die Strahlungstemperatur durch planerische Maßnahmen teilweise gesenkt werden. So kann das Reflektionsverhalten von Gebäudeoberflächen sowie deren Wärmeabstrahlung durch Begrünung der Fassaden wirksam beeinflusst werden. Die Wirkung schattenspendender Bäume auf das Mikroklima im Innenstadtbereich wurde ja bereits genannt, aber auch schattige Innenhöfe, die für die Bevölkerung frei zugänglich und auf Grund attraktiver Gestaltung zum Verweilen einladen, sind an heißen Sommertagen klimatologische Entlastungsflächen. Auf Grund der in Speyer hohen bioklimatischen Belastungssituation an heißen Tagen kommt, wie das obige Beispiel zeigt, insbesondere den Möglichkeiten zur individuellen thermischen Entlastung große Bedeutung zu. Auch kleinräumige Entlastungsflächen, wie kleine Baumgruppen, sind unter diesem Gesichtspunkt erhaltens- bzw. schaffenswert, wenn sie für Bürger attraktiv und leicht zu erreichen sind. Ein weiterer Punkt die individuelle thermische Entlastung der Einwohner zu fördern ist die Verbesserung der Anbindung von Naherholungsgebieten im Speyerer Stadtwald und an den Baggerseen, beispielsweise durch schattige Fahrradwege. Zusammenfassend ist festzustellen, dass in den heißen Sommermonaten tagsüber eine bioklimatische Entlastung nur lokal und individuell erfolgen kann. Durch städteplanerische Maßnahmen kann dies jedoch nachhaltig gefördert werden. Bei zukünftigen Arealumgestaltungen bzw. bei der Neuplanung größerer Gebäudeanlagen sollte der bioklimatische Wirkungskomplex durch geeignete Modellrechnungen (PMV, PET etc.) Berücksichtigung finden.

7.2 Nachtsituation

Die mehrtägigen Hitze- und Schwüleepisoden im Hochsommer sind vom menschlichen Organismus leichter zu ertragen, wenn durch nächtliche Abkühlung die bioklimatische Belastungssituation unterbrochen wird.

Bei anhaltender Hitze während der Nacht findet der Mensch kaum erholsamen Schlaf. Da aber gerade die Nachtstunden der körperlichen Regeneration dienen, wirkt die Beeinträchtigung der nächtlichen Erholungsphasen, insbesondere in Summation über mehrere Tage, physisch besonders stark belastend.

Im Bereich verdichteter Bebauung, im Innenstadtgebiet, bleibt auf Grund der Wärmespeicherung durch die Baukörper die nächtliche Temperatur auf einem hohen Niveau. Ausgleich ist nur durch das Einsickern kühlerer Luft von außerhalb möglich.

Speyer verfügt bislang über noch wirksame, thermisch aktive Entlastungsgebiete sowie derzeit funktionierende Kaltluftbahnen. Dies belegen die im Messnetz nachgewiesenen nächtlichen Temperaturunterschiede bis zu über 4°C im Sommer (vgl. Kap. 4.2 : Stationsdifferenzen bei den absoluten Maximum- und Minimumtemperaturen für einen Sommer- und Wintermonat). Dem Erhalt dieser für Wohngebiete klimawirksamen Flächen kommt in Hinblick auf das thermische Wohlbefinden der Einwohner von Speyer eine große Bedeutung zu.

Um die klimatischen Entlastungsgebiete und ihre Reichweite nachzuweisen, wurden die Ergebnisse der zum Minimumtermin durchgeführten Klimamessfahrten zu Kompositkarten montiert (vgl. Kap. 3.2 : Klimamessfahrten). Diese ergeben ein komplettes, jedoch aber auch hochaufgelöstes qualitatives Bild der nächtlichen urbanen Wärmeinsel (vgl. Kap. 8 : Räumliche Ausprägung der nächtlichen Wärmeinsel).

Für die Maximummessfahrten wurde auf diese aufwendige Montage verzichtet, da am Tage die bioklimatische Belastung, wie bereits erläutert, durch weitere Faktoren maßgeblich beeinflusst wird. Der Informationsgewinn durch Kompositkarten des Lufttemperaturfeldes am Tage wäre entsprechend gering, zumal auch die Temperaturunterschiede wesentlich kleiner sind.

8 Räumliche Ausprägung der nächtlichen Wärmeinsel

Für jede der 15 durchgeführten Klimamessfahrten erfolgte auf der Basis der trendkorrigierten Temperatur- und Feuchtwerte (vgl. Kap. 3.2 : Klimamessfahrten) eine Isothermen- (Linien gleicher Temperatur) bzw. eine Isohumiden- (Linien gleicher relativer Luftfeuchte) Analyse. Die 7 Isothermenkarten der Minimumfahrten (s. Tab. 3.2 : Messfahrten Speyer) wurden in einem weiteren Schritt verwendet, um anschließend eine Frühjahrs- und eine Sommerkompositkarte der nächtlichen urbanen Wärmeinsel zu entwickeln. In diesen Kompositen sind die Karten der gemessenen nächtlichen Temperaturfelder der Messrouten West, Ost und Süd zu qualitativen Übersichtskarten der Wärmeverteilung in Speyer und Umgebung montiert. Als einheitliche Temperaturklassifizierung wurde eine relative Wärmestufenskala gewählt.

8.1 Frühjahrskomposit

Die Karte der nächtlichen urbanen Wärmeinsel im Frühjahr (Karte 8.1) basiert auf Messfahrten, die im Zeitraum von Ende März bis Mitte April 1994 durchgeführt wurden. Die Auswertung erfolgte in 5 Wärmestufen, von dunkelrot = überhitzt, rot = sehr warm, orange = warm, gelb = mäßig warm, gelbgrün = mäßig kühl, hellgrün = kühl, grün = mäßig kalt bis dunkelgrün = kalt.

Die aus einer früheren Messfahrt /3/ bekannte grobe Form einer Birnen-förmigen Wärmeinsel ist durch diese wesentlich höher auflösenden Untersuchungen in vielen Details zu revidieren bzw. zu ergänzen.

So wird die städtische nächtliche Wärmeinsel aus mehreren Richtungen durch klimatische Ausgleichsströmungen „angeknabbert“.

Im Westen reicht entlang des Woogbaches eine, wenn auch schmale Entlastungszunge bis tief in das Stadtgebiet und vereinigt sich dort mit dem mäßig warmen Bereich der Gleisanlagen des Bahnhofs.

Deutlich zeichnet sich auch die entlastende Wirkung des Germansberges ab. Trotz der bestehenden Lärmschutzwand an der B39 greift sie über den Straßenzug hinweg und schnürt in Verbindung mit dem mäßig kühlen Domgarten das Wohn- und Gewerbegebiet westlich des Flugfeldes von der orange angefärbten innerstädtischen Wärmeinsel ab.

Überraschend und gleichwohl von hoher bioklimatischer Bedeutung für Speyer ist der Befund, dass es im gesamten Südwesten der Stadt in den Nachtstunden bei Weitem nicht so warm ist, wie es der Bebauungsstruktur entspräche. So erscheinen die südwestlichen Stadtteile lediglich mäßig warm, im Bereich des Abzweigs der B9 von der B39 in Richtung Germersheim sogar mäßig kühl. Ursächlich hierfür sind die großen zusammenhängenden landwirtschaftlichen Nutzflächen zwischen Dudenhofen im Norden, Harthausen und Schwegenheim im Westen und Römerberg im Osten, die sich in Richtung Süden bis nach Lingenfeld fortsetzen. Das beschriebene große Landwirtschaftsgebiet grenzt im Südwesten an den dargestellten Kartenausschnitt an und war nicht Bestandteil der Messfahrtrouten. Auf Grund seiner offenen Lage kann es in Strahlungs Nächten gut auskühlen, auch wenn es am Tage verglichen mit den angrenzenden Waldflächen überwärmt ist. Zu belegen ist diese Aussage durch die Ergebnisse der satellitengestützten Thermalkartierung Rheinland-Pfalz /2/. In der Nacht erscheinen diese Flächen im Infrarotbild kühl, am Tage hingegen warm. Ausgehend von diesem klimawirksamen Gebiet, das von Speyer aus betrachtet in der Hauptwindrichtung (vgl. Kap. 9 : Windverhältnisse) liegt, dringt fast jede Nacht ein abkühlender Windzug im Südwesten der Stadt bis fast an die Grenze des Stadtkerns ein.

Als ein weiteres Ergebnis der Klimamessfahrtanalyse zeichnet sich im Nordosten eine kühle Schleife ausgehend vom Spitzenerhof über die alte Speyerer Weide zum Schlangenhühl hin ab. Dieses Gebiet hat eine eigenständige Klimawirkung, deren Reichweite jedoch räumlich begrenzt ist. Die Entlastungswirkung für die direkt angrenzende Bebauung ist allerdings bedeutend. Im Bereich der Austraße ist dieses kühle Band aufgrund der Wirkung der Bebauung bereits unterbrochen.

Ebenfalls ein autochthones kühles, im Kern sogar mäßig kaltes Gebiet ist das Brunnenareal südlich der Mörschbergstraße. Von ihm geht allerdings, bedingt durch seine zum Wohngebiet am Germansberg vergleichsweise geographisch tieferen Lage, keine klimatische Fernwirkung aus. Das Gebiet bildet einen flachen Kaltluftsee.

Vergleichsweise kühl erscheint auch das Gewerbe- und Industriegebiet im Nordwesten der Stadt. Hier macht sich positiv die lockere Bebauung und der erhaltene Baumbestand bemerkbar. Zum einen heizt sich das Gebiet durch die Beschattung weiter Flächen tagsüber nur begrenzt auf, zum Anderen kann im Laufe der Nacht durch die breiten Lücken aus dem Speyerer Stadtwald angenehm kühle Luft einsickern.

Zur Vervollständigung des Bildes sind die weiteren urbanen Wärmeinseln der umliegenden

Gemeinden Otterstadt, Dudenhofen und Berghausen zu nennen sowie die Baggerseeflächen, die in den Nachtstunden ebenfalls wenig abkühlen.

8.2 Sommerkomposit

Für die Sommerkompositkarte der nächtlichen Wärmeinsel (Karte 8.2) wurden die Messfahrten aus der Sommerepisode Ende Juni / Anfang Juli 1994 ausgewertet.

Prinzipiell bestätigt die Sommerkarte das Bild der bereits beschriebenen nächtlichen urbanen Wärmeinsel im Frühjahr.

Auffällig ist hingegen die Reduktion der Skala um zwei Wärmestufen sowie die deutliche Ausweitung des überhitzten bzw. sehr warmen Stadtkerns im Sommer. Bei länger anhaltenden Hitzeperioden heizt sich der Oberrheingraben im Ganzen merklich auf, und auch die als klimatische Puffergebiete wirkenden Wälder und Auen pegeln sich allmählich auf einem höheren Temperaturniveau ein. Kalte bzw. mäßig kalte Gebiete sind im Hochsommer praktisch nicht mehr vertreten.

Die bereits beim Frühjahrskomposit als klimarelevant erkannten Gebiete, wie der Woogbachlauf, die von der Bebauung freigehaltene Zunge am Germansberg und vor allem die großen zusammenhängenden landwirtschaftlichen Nutzflächen im Südwesten, sind auch im Sommer aktiv. Lediglich die Verbindung zwischen Germansberg und Domgarten prägt sich im Sommer nicht mehr aus, da die nächtlichen Temperaturwerte des Domgartens vom nahen Rhein beeinflusst werden. Die Luft über dem Rhein ist in Sommernächten im Vergleich zu der Luft über Land warm. Das liegt darin begründet, dass die Wasseroberfläche des Rheins in der Nacht aufgrund der höheren Wärmetransportfähigkeit im Wasserkörper im Vergleich zu Bodenoberflächen praktisch nicht auskühlt und die darüber streichende Luft je nach Temperatur Wärme aufnimmt bzw. sich nicht weiter abkühlt.

Bedingt durch die stärkere Turbulenzbildung strömenden Wassers, ist der vertikale Temperatúrausgleich im Rhein auch noch stärker als in Stillgewässern. In unbewegtem Wasser bildet sich hingegen unmittelbar an der Wasseroberfläche ein starker Temperaturgradient aus. Dieses unterschiedliche Verhalten der Wasseroberflächen wird daran deutlich, dass im Sommerkomposit der Rheinlauf wärmer erscheint als die Baggerseeflächen. Hierbei ist zu

berücksichtigen, dass der Klimamesswagen die Temperatur der bodennahen Luftschicht erfasst, nicht die Temperatur des Wasserkörpers.

Ebenso im Sommerbild erhalten geblieben sind die autochthonen Kühlgebiete, wie die Schleife im Nordosten (Spitzenrheinhof, Alte Speyerer Weide und Schlangewühl) und das Brunnengebiet im Süden.

Der positive Einfluss des Speyerer Stadtwaldes und des hohen Baumbestandes auf das Klima des Gewerbe- und Industriegebietes im Nordwesten der Stadt ist an heißen Tagen eher noch stärker ausgeprägt. Allerdings übert die städtische Wärmeinsel im Gegenzug auch in den Waldrand hinein aus.

Im Südosten, in der Rheinschlinge, zeichnen sich im Sommerkomposit zunehmend die Auswirkungen der während des Messjahres 1994 in der Entstehung begriffenen „Parkstadt am Rhein“ ab (die auf der Kartengrundlage ausgewiesene Bebauung entspricht weder dem damaligen noch dem heutigen Zustand). Entgegen dem 1994 kartierten Übergangsbild muss heute davon ausgegangen werden, dass hier eine weitere eigenständige Wärmeinsel entstanden ist.

9 Windverhältnisse

Die lokalen Windverhältnisse sind verantwortlich für den Transport von Luftinhaltsstoffen und für das Heranführen von kühler Luft, aber auch für die Durchmischung der bodennahen Luftschicht.

Somit beeinflussen sie maßgeblich die lufthygienischen Verhältnisse sowie den thermischen Komfort im Stadtgebiet.

Zur Charakterisierung der Transportwirkung und der turbulenten Durchmischungsfähigkeit sind unterschiedliche Mittelungsverfahren für die Windmessungen erforderlich. Der Weg von Luftpaketen kann nur in Kombination der Windrichtung zusammen mit der Windgeschwindigkeit beschrieben werden. Deshalb wird die mittlere Transportrichtung und –geschwindigkeit durch Vektoraddition ermittelt.

Als Maß für die turbulente Durchmischung hingegen, ist ausschließlich der Betrag der Windgeschwindigkeit, unabhängig von der Windrichtung, von Belang. Die Durchlüftungsverhältnisse können somit durch das skalare Mittel der Windgeschwindigkeit klassifiziert werden.

Eine weitere wichtige Aussage zur Einordnung der Durchlüftungsverhältnisse ist die Calmenhäufigkeit. Das heißt die Angabe darüber, in wie viel Prozent der Jahresstunden Windstille (sehr geringe Windgeschwindigkeiten; unter 0,3 m/sec) herrscht.

Zur Beschreibung der Windrichtungsverhältnisse wird ebenfalls eine Häufigkeitsanalyse verwendet, die in graphischer Form als Windrose dargestellt wird.

Bei Windrosen erfolgt die Angabe der Windrichtung durch Winkelgrade im Vollkreis von 0°-360°. Der Kreis wird in Sektoren aufgeteilt und es wurden die Stunden ausgezählt, wie häufig der Wind aus den jeweiligen Sektoren wehte. Bei den hier im Gutachten benutzten 36-teiligen Windrosen umfasst ein Sektor jeweils 10°. Ausgehend vom Mittelpunkt der Windrose wird auf sternförmig angeordneten Achsen, die durch die Mitte des jeweiligen Sektors gehen (d.h. z.B. bei dem Sektor 85° - 95° bei 90°, gleichbedeutend mit Wind aus Ost), die Windhäufigkeit aus diesem Sektor aufgetragen. Diese Punkte miteinander verbunden, ergeben die eingefärbten Windrosen, die in Form von Windrosenbeeten kartographisch dargestellt wurden. Der als Kreuz markierte Windrosenmittelpunkt liegt jeweils auf den Koordinaten der Messstelle. Die Häufigkeit der Calmen wird, da Windstille keiner Windrichtung zugeordnet werden kann, als Kreis visualisiert. Die Achsenskalierung der Häufigkeitsachsen für

Windrichtung und Calmen ist unterschiedlich. Sie ist der Legende zu entnehmen.

Für alle Stationen liegen darüber hinaus zweidimensionale Windstatistiken vor. Das sind Häufigkeitsauszählungen der Winde aus den Windsektoren nach Windgeschwindigkeitsklassen. Diese Statistiken werden für Belange der Luftreinhaltung eingesetzt.

9.1 Windrichtungsverteilung

Die Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung in Karte 9.1 (Gesamtwindrosen) entsprechen der Auswertung des Gesamtmesszeitraums von 2 Jahren (1. Juli 1992 – 30. Juni 1994). Hierdurch ist gewährleistet, dass die dargestellten Jahreswindrosen statistisch abgesichert sind.

Alle in Speyer gemessenen Windrosen sind durch den Verlauf des Rheintales geprägt. Entsprechend der Häufigkeit von Westwindgroßwetterlagen treten bevorzugt Winde aus SSW auf. Dies entspricht der Kanalisierung der Luftströmung entlang der begrenzenden Höhenzüge des Pfälzerwaldes und des Schwarzwaldes.

Ein sekundäres Maximum bildet die Richtung nahe Nord. Hier spiegelt sich der Rheinlauf wieder, der nördlich von Speyer fast exakt der Süd–Nord–Richtung folgt.

Die Bündelung der Windrichtungshäufigkeit ist bei den innerstädtischen Stationen auf Grund der zusätzlich kanalisierenden Wirkung der Straßenzüge größer als bei den Außenstationen. Bis auf kleine Winkelabweichungen entsprechen aber auch sie der für Speyer charakteristischen Form.

Die Calmenhäufigkeit in Speyer ist signifikant für die Lage der Stadt im geschützten Oberrheingraben erheblich. Sie schwankt zwischen 5 % in offenem Gelände und über 25 % der Jahresstunden bei windgeschützten Stationen.

Bei den freigelegenen Stationen ist auffällig, dass die Südstationen eine höhere Calmenhäufigkeit aufweisen als die Nordstationen. Das liegt darin begründet, dass für die beiden bevorzugten Windrichtungen SSW und Nord unterschiedlich starke Winde charakteristisch sind. Die Winde aus SSW treten im Regelfall mit höheren Windgeschwindigkeiten auf als die der Nordströmung (vgl. Karte 9.3 : Windrosen nach Windgeschwindigkeitsklassen). Dies bewirkt, dass SSW–Winde sich durch das Stadtgebiet hindurch bis hin zu den Nordstationen durchsetzen, bei Nordwinden der Windschatten der Stadt jedoch häufig ausreicht, um die an

den Südstationen gemessenen Windgeschwindigkeiten unter die Calmengrenze zu drücken. Auf die Bedeutung der SSW–Strömung für die Kühlung der Stadt in heißen Sommernächten wurde bereits in Kap. 8 hingewiesen. Der Windrosenpeak in dieser Richtung belegt statistisch abgesichert die hohe Wahrscheinlichkeit für das häufige Auftreten dieser Ausgleichsströmung.

9.2 Windrichtungsverteilung in den Tag- und Nachtstunden

Durch eine getrennte Auszählung der Windrichtungshäufigkeiten nach Tages- und Nachtstunden erhält man sogenannte Tag- bzw. Nachtwindrosen. Diese getrennte Auswertung wird üblicherweise verwendet, um aus den Unterschieden in den Häufigkeitsverteilungen auf das Vorhandensein tagesperiodischer Windsysteme, wie z.B. Hangwindzirkulationen oder Land-Seewindsysteme, zu schließen. Topographisch bedingt treten in Speyer diese tagesperiodischen Windsysteme nicht auf, trotzdem zeigt die Tag- / Nachtauswertung interessante Ergebnisse.

Auf Karte 9.2 sind die Tag- und Nachtwindrosen überlagert. Nur die Differenz aus beiden Häufigkeitsverteilungen ist angefärbt, und zwar blau, falls in diesem Sektor die Häufigkeit von Winden in den Nachtstunden größer ist als am Tag, bzw. rot, falls das Auftreten von Winden aus diesem Richtungssektor am Tage überwiegt. Die eingeschlossene, nicht angefärbte Fläche ist beiden Windrosen gemeinsam.

Zwei Nachteffekte lassen sich im gesamten Messgebiet ablesen:

Zum Einen ist die Bündelung auf zwei Hauptwindrichtungen in den Nachtstunden schärfer abgegrenzt. Als Zweites fällt auf, dass das Sekundärmaximum nachts weiter in Richtung NNW verschoben ist.

Beide Effekte haben die gleiche Ursache. In den Nachtstunden bildet sich bodennah eine stabile Schichtung aus, d.h. am Boden ist die Luft kälter als weiter oben. Die Temperatur nimmt mit der Höhe zunächst stark zu. Die Mächtigkeit dieser nächtlichen Inversions – Unterschicht liegt in klaren Nächten bei ca. 100 m, in bedeckten etwas niedriger.

Die turbulente Durchmischung in dieser stark stabil geschichteten Luftschicht ist gering, d.h. der Höhenwind kann nachts nicht so gut bis zum Boden durchgreifen. Dies wirkt sich in zweifacher Hinsicht aus. Die bodennahe Windgeschwindigkeit ist in den Nachtsstunden im

Mittel geringer als am Tage bzw. die nächtliche Calmenhäufigkeit (s. blaue Kreise) höher. Darüber hinaus ist die Leitwirkung auch von geringeren Höhenstufen stärker. Verfolgt man im Bereich von Speyer den Verlauf des Hochgestades (100 m Höhenstufe), so deckt sich dieser mit den beiden Spitzen der nächtlichen Windrose. Tagsüber ist die Schwankungsbreite um die Hauptwindrichtungen in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit größer. Die kanalisierende Wirkung geht maßgeblich von den höheren, den Rheingraben begrenzenden Gebirgszügen aus.

Ein weiteres, insbesondere für die Ausbreitung von Luftschadstoffen relevantes Ergebnis ist der zusätzliche SSE-Nachtpeak der Windrose der Station Industriegebiet. Die Richtigkeit dieses Messergebnisses wird durch die Messungen der ZIMEN (Zentrales Immissionsmessnetz Rheinland-Pfalz) – Station, aus dem Zeitraum, als sich diese Messstelle noch am Übungsplatz der städtischen Feuerwehr befand, und der REKLIP (REGIO – KLIMA – PROJEKTES /6/) - Untersuchung belegt. Es handelt sich hierbei vermutlich um eine regionale nächtliche Strömung, die ausgehend vom Schwarzwald sich südlich von Speyer bis an den Rhein auswirkt.

9.3 Windrichtungsverteilung nach Windgeschwindigkeiten

Die Windrosendarstellung in Karte 9.3 (Windrosen nach Windgeschwindigkeitsklassen) veranschaulicht die zweidimensionale Windstatistik. Hierbei ist als zusätzliche Information zur Windrichtungshäufigkeit nach Sektoren durch farbliche Unterscheidung die Verteilung auf Windgeschwindigkeitsklassen visualisiert. Die gewählte Klasseneinteilung kann der Kartenlegende entnommen werden.

Die Verteilung der Windgeschwindigkeiten auf die Hauptwindrichtungen ist signifikant unterschiedlich.

Aus der Nordrichtung treten fast nur schwache Winde mit einer Windgeschwindigkeit unter 3 m/sec im 1 h-Mittel auf.

Die SSW-Winde hingegen sind im Mittel stärker. Hier sind durchaus Windgeschwindigkeiten bis 5 m/sec bei geschützten Lagen bzw. bis 7 m/sec bei freier Anströmung im 1 h-Mittel häufig. An manchen offen gelegenen Stationen, insbesondere im Luv der Stadt, werden sogar Stundenmittelwerte der Windgeschwindigkeiten über 7 m/sec beobachtet.

Auf einen Nenner gebracht, ergibt dies die Aussage, dass windige Tage in Speyer so gut wie immer mit SSW–Winden verbunden sind.

9.4 Mittlere Windgeschwindigkeiten

Die in aufsteigender Reihenfolge angeordneten Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit (basierend auf zwei Messjahren) an den Stationen in Diagramm 9.4 zeigen deutlich die windabschwächende Wirkung der verdichteten Innenstadtbebauung. Im Außenbereich erreicht das Jahresmittel der Windgeschwindigkeit bis über das Dreifache dieser Werte.

Die Größenordnung der in Speyer gemessenen Werte entspricht im Bundesvergleich dem Jahresmittel der Windgeschwindigkeit anderer süddeutscher Stadtregionen. Im norddeutschen Küstenbereich hingegen sind Jahresmittelgeschwindigkeiten von etwa 6 m/sec üblich /4/.

Mittlere Windgeschwindigkeit

vom 1. Juli 1992 bis 30. Juni 1994

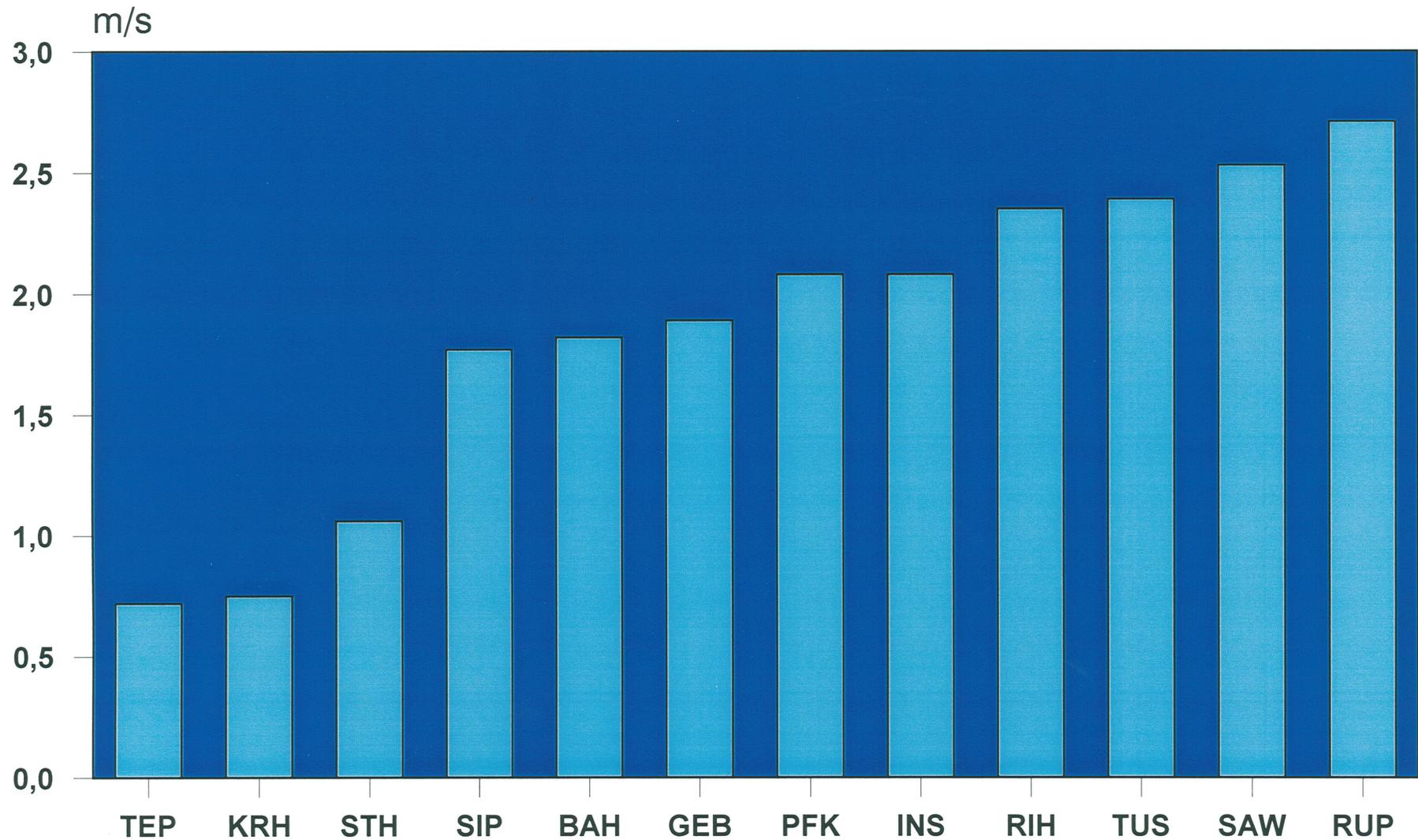


Diagramm 9.4 : Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit

10 Zusammenfassung der planungsrelevanten Ergebnisse und Hinweise

Speyer zählt zu den thermischen Belastungsgebieten von Rheinland–Pfalz. Dem Schutz und der Entwicklung von bioklimatischen Entlastungsgebieten und –mechanismen kommt deshalb eine hohe Bedeutung zu.

Als besonders bioklimatisch belastend anzusehen sind die hochsommerlichen Episoden, an denen über mehrere Tage hinweg hohe Temperaturen einhergehen mit Schwüle und dem Fehlen kühlender Winde.

Bleibt auch über die Nachtstunden die Hitze in der Stadt gespeichert, so findet der Mensch kaum erholsamen Schlaf. Da jedoch gerade die Nachtstunden der körperlichen Regeneration dienen, wird hierdurch die physische Belastung potenziert.

Speyer verfügt bislang über einige noch wirksame Entlastungsschneisen, die in der Nacht kühlere Luft in das Stadtgebiet leiten (vgl. Kap: 8 : Räumliche Ausprägung der nächtlichen Wärmeinsel).

Eine Entlastungszunge führt im Westen entlang des Woogbachlaufes bis in den Bereich der Gleisanlagen des Bahnhofes. Die Eindringtiefe der klimatischen Entlastung in die angrenzende Bebauung ist begrenzt. Die Lauflänge des Entlastungsbandes bis weit in das Stadtgebiet hinein macht dieses klimawirksame Gebiet nicht nur für die direkten Anlieger wertvoll. Es bietet den Einwohnern der gesamten Weststadt die Möglichkeit zur individuellen wohnungsnahen thermischen Erholung, beispielsweise durch Spaziergänge in den Abendstunden. Auch das Gelände am Germansberg ist als klimatische Ausgleichszone aktiv. Trotz der zwischenzeitlich gebauten Lärmschutzwand entlang der B39 existiert die bereits bekannte und detailliert untersuchte /3/ thermische Entlastungswirkung auf das Stadtgebiet weiterhin. Ein Gebiet sehr hoher bioklimatischer Relevanz ist, da von ihm alle südwestlichen Stadtteile direkt profitieren, die große zusammenhängende landwirtschaftliche Nutzfläche zwischen Harthausen und Lingenfeld. In sommerlichen Strahlungsnächten entsteht hier kühle Luft, die mit den häufigen SSW–Winden weit in das Stadtgebiet hineingetragen wird. Da es sich hierbei um eine freie Schneise in der Hauptwindrichtung handelt, kann fast jede Nacht mit dieser Strömung gerechnet werden. Eine Sperrbebauung zwischen Dudenhofen und Berghausen würde diesen die Sommernächte der Südweststadt kühlenden Windzug unterbinden. Gleichwohl sollten hohe Emissionen durch Verkehr oder Gewerbe vermieden werden, da sie ebenfalls an den meisten Tagen des Jahres direkt in das südwestliche

Stadtgebiet getragen würden.

Im Nordosten der Stadt bildet sich in klaren Sommernächten eine kühle Schleife, ausgehend vom Spitzenrheinf über die alte Speyerer Weide zum Schlangenwühl hin, aus. Ihre entlastende Wirkung auf die direkt angrenzende Bebauung ist sehr groß. Eine weitere Ausdehnung der Gewerbeflächen und der Wohnbebauung auf diesen Bereich wird die eigenständige klimatische Wirkung dieses kühlen Bandes nachhaltig mindern. Einen negativen Einfluss auf die Wohnqualität der Innenstadt wird dieses allerdings nicht haben, da lediglich die direkten Anlieger Nutznießer dieses Kühlflächenzuges sind. Bei der Ausweitung der Siedlungsflächen sollte darauf geachtet werden, dass die Kernzone der Schleife (Senke des Nachtweidegrabens, Stockbachgraben etc.) in ausreichender Breite freigehalten wird. Des Weiteren sollten soweit wie möglich naturnahe Vegetationsbestände erhalten bleiben und großräumige Flächenversiegelung vermieden werden.

Das angrenzende Baggerseenareal hat auf Grund der hohen Wärmespeicherfähigkeit der Wasserkörper keine weitere positive Wirkung auf die thermische Situation in Sommernächten.

Die bioklimatische Tagesbelastung bei länger anhaltenden Hitzeperioden kann in Speyer nur durch die Förderung individueller thermischer Erholung gesenkt werden (s. Kap. 7 : Bioklimatische Entlastungsmöglichkeiten).

Das thermische Behaglichkeitsempfinden des Menschen wird nachhaltig gesteigert, wenn er die Möglichkeit hat sich auf schattigen, am Besten gut durchlüfteten Flächen aufzuhalten. Unter diesem Gesichtspunkt ist jeglicher Baumbestand, unabhängig von seiner Ausdehnung, erhaltenswert. Auch kleine Baumgruppen und schattige Höfe, die attraktiv gestaltet zum Verweilen einladen, bieten wenn auch nur kurzzeitig thermische Erholung. Ziel, in Hinblick auf eine Steigerung der bioklimatischen Lebensqualität, sollte es sein, dass jedem Bürger diese Möglichkeit im Nahbereich seines Wohn- und Arbeitsumfeldes geboten wird. Deshalb sollten bei zukünftigen Freiraumplanungen und Arealumgestaltungen die Schaffung solcher thermischen Erholungsinseln gefördert werden.

In diesem Zusammenhang ist auch anzuraten bei der Neuplanung bzw. der Umgestaltung von größeren Gebäudeanlagen die Möglichkeit zu nutzen, durch Modellrechnung (PMV, PET etc.) bauliche Alternativen hinsichtlich ihrer Auswirkung auf den bioklimatischen Wirkungskomplex für den Menschen hin zu optimieren.

Weiterer positiver Einfluss auf den thermischen Komfort der Bürger kann durch die

Reduktion der Wärmestrahlung der Gebäudeflächen durch entsprechende Fassadengestaltung und –begrünung ausgeübt werden.

Auch die Naherholung bietet den Bürgern die Möglichkeit in Hitzeperioden ihr Wohlbefinden zu steigern. Im Sinne einer gesundheitsfördernden thermischen Entspannung ist der Stadtwald, insbesondere für ältere und ganz junge Bürger, von höherer Bedeutung als die Baggerseen. Allerdings wird der Erholungseffekt erheblich gemindert, wenn das Naherholungsgebiet bequem nur im heißen Auto oder Bus erreicht werden kann. Die gute Anbindung des Stadtwaldes und der Badestellen an den Baggerseen durch schattige Fuß- und Radwege wäre ebenfalls ein Beitrag zur Steigerung des thermischen Wohlbefindens der Bewohner der Stadt Speyer an sehr heißen Tagen.

Ein thermisch bevorzugtes Areal ist das Gewerbe- und Industriegebiet im Nordwesten der Stadt. An heißen Tagen bleibt es hier durch den hohen Baumbestand relativ kühl. In den Nachtstunden kann dank der lockeren Bebauungsstruktur kühlere Luft aus dem Speyerer Stadtwald einsickern. Diese Verhältnisse sollten zum Schutz der hier arbeitenden Menschen erhalten bleiben.

Die bioklimatische Belastung durch thermischen Stress wird in Speyer, insbesondere bei windschwachen Lagen, durch die Anreicherung von Luftverunreinigungen im Oberrheingraben, ausgehend von den benachbarten Ballungs- und Verdichtungsräumen sowie dem hohen Verkehrsaufkommen, verstärkt. Aufgrund der vorgegebenen lufthygienischen Grundbelastung sollte bei der Ansiedlung emittierender Gewerbes in der „Parkstadt am Rhein“ besonderer Wert auf die Überprüfung der Ausbreitungssituation gelegt werden, vor allem da die gemessene Windrose für die Nacht- und Morgenstunden eine Häufung von Winden in Stadtrichtung aufzeigt (vgl. Karte 9.2 : Tag/Nacht – Windrosen).

Literatur:

- /1/ Danzeisen H.H (1983); Experimentelle Untersuchung bodennaher Lufttemperatur- und Feuchteverteilungen in Stadtgebieten mit Hilfe eines Messwagens; Beitr. LPfl. in Rh – Pfalz, Bd. 9, S. 7-43; LfUG – RP Oppenheim; Verl. E. Sommer; Grünstadt
- /2/ DLR (Deutsche Forschungsanstalt der Luft- und Raumfahrt e.V.) (1997); Thermalkartierung der Landoberfläche Rheinland – Pfalz mit NOAA – AVHRR – Fernerkundungsdaten; Projektbericht; Oberpfaffenhofen
- /3/ LfUG (Landesamt für Umweltschutz und Gewerbeaufsicht Rheinland – Pfalz) (1991); Klimagutachten „Am Germansberg“; im Auftrag der Stadt Speyer; Abschlussbericht; Oppenheim
- /4/ KRdL (Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN) (1993); Lufthygiene und Klima; Löbel J.; Klima und Lufthygiene – Allgemeine Aspekte; S. 1-15; VDI – Verlag GmbH; Düsseldorf; ISBN 3-18-401349-9
- /5/ KRdL (Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN) (1998); VDI 3787, Blatt 2; Methoden zur human – biometeorologischen Bewertung von Klima und Lufthygiene für Stadt- und Regionalplanung; Teil 1: Klima; VDI/DIN – Handbuch Reinhaltung der Luft Band 1b
- /6/ REKLIP (Trinationale Arbeitsgemeinschaft Regio – Klima – Projekt) (1995); Klimaatlas Oberrhein Mitte – Süd; IFG Institut für angewandte Geowissenschaften; Offenbach; ISBN D 3-00-000100-X

Abbildungen:

Abb. 3.1: Photo der Messstation Rinkenberger Hof (RIH) 9

Abb. 3.2.1: Photo des Klimamesswagens 11

Diagramme:

4.0	Abweichungen der Lufttemperatur vom Mittel 1951 – 1980.....	18
4.1.1	Mittlere Temperaturabweichungen im Frühjahr, Sommer, Herbst und Winter ...	22
4.1.2	Mittlere Temperaturabweichungen nach Jahreszeiten an den Stationen.....	25
4.2	Unterschiede der absoluten Temperatur – Minima und Temperatur - Maxima....	27
4.3.1	Mittlerer monatlicher Tagesgang der Lufttemperatur im August 1993.....	30
4.3.2	Mittlere monatliche Tagesamplituden – Legende.....	32
4.3.3	Mittlere monatliche Tagesamplituden im August 1993.....	33
4.3.4	Mittlere monatliche Tagesamplituden im Februar 1993.....	34
5.1.1	Mittlerer monatlicher Tagesgang der relativen Luftfeuchte repräsentativer Stationen im Dezember 1992 und August 1993	42
5.1.2	Mittlerer monatlicher Tagesgang der relativen Luftfeuchte der Innenstadtstationen im Dezember 1992 und August 1993.....	43
5.2.1	Jahreszeitmittel der relativen Luftfeuchte 1993	45
5.2.2	Niederschlag an der Station Speyer	46
5.2.3	Abweichungen des Niederschlages vom Mittel 1951 – 1980	47
9.4	Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit	69

Tabellen:

3.1 Standortverzeichnis Speyer.....	7
3.2 Messfahrten Speyer	13
4.0.1 Klimastatistik Mannheim (Wewa) 1978 bis 1997	15
4.0.2 Erläuterungen zur Klimastatistik	16
4.0.3 Lufttemperatur in Mannheim und Niederschlag in Speyer	17
4.0.4 Lufttemperatur ausgewählter Klimastationen in Deutschland.....	20
6.0 Klimastatistik Speyer 1993.....	52

Verzeichnis des Karten:

Karte 2.0: Karte der thermischen Belastungsgebiete Rheinland – Pfalz

Karte 3.1: Lage und Bezeichnung der Messstationen

Karte 3.2: Messfahrten mit dem Klimamesswagen – Streckenführung

Karte 5.2.1: Relative Luftfeuchte im Dezember 1992

Karte 5.2.2: Relative Luftfeuchte im Mai 1993

Karte 5.2.3: Relative Luftfeuchte im August 1993

Karte 6.1: Sommer- und heiße Tage 1993

Karte 6.2: Frost- und Eistage 1993

Karte 6.3: Jahresstunden mit Schwüle 1993

Karte 8.1: Nächtliche Wärmeinsel im Frühjahr

Karte 8.2: Nächtliche Wärmeinsel im Sommer

Karte 9.1: Gesamtwindrosen

Karte 9.2: Tag/Nacht – Windrosen

Karte 9.3: Windrosen nach Windgeschwindigkeitsklassen

Kartenmaßstab: 1:25.000 (Karte 3.2, 8.1 und 8.2 : 1:30.000)