

# Frosttauwechselprüfungen für vorgehängte Fassadenelemente

## 2. Teil

**T 2565/2**

T 2565/2

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

**FROSTTAUWECHSELPRÜFUNGEN  
FÜR VORGEHÄNGTE FASSADENELEMENTE**

**2. Teil und Endbericht**

**August 1993**

**von**

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. K. Zimbelmann  
Dipl.-Chem. U. Bielecki**

**Institut für Werkstoffe des Bauwesens  
Universität der Bundeswehr München**

1. AUSGANGSSITUATION	2
2. VERSUCHSPROGRAMM	3
3. FASSADENAUFBAU	4
4. MESSEINRICHTUNGEN	5
4.1 Allgemeines	5
4.2 Temperaturfühler	6
4.3 Feuchtefühler	6
4.4 Schlagregen-Meßeinrichtung	7
4.5 Windmessung	8
4.6 Intensität der Sonneneinstrahlung	8
4.7 Erfassung der Meßdaten	9
5. MESSERGEBNISSE	9
5.1 Zeitraum der Messungen	9
5.2 Vergleich von Temperatur und Luftfeuchte in München und Hamburg	11
5.3 Temperatur und Luftfeuchte vor und hinter der Fassade	11
5.4 Einfluß der Meßstellenlage	15
5.5 Einfluß von Sonne und Wind	17
5.6 Regenbeanspruchung	18
6. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	19
7. SCHLUSSFOLGERUNGEN	20
ANHANG	21

## 1. AUSGANGSSITUATION

Das Forschungsvorhaben basierte auf dem Gedanken, daß trotz gleichartiger oder zumindest sehr ähnlicher Witterungsbeaufschlagung von Bauteilen - hier im Speziellen von Fassadenelementen - für die Elemente baustoffbezogene Frostprüfungen existieren; d.h. in der Praxis gleichartig beanspruchte Baustoffe werden hinsichtlich ihres Verhaltens gegenüber dieser Beanspruchung nach unterschiedlichen Regeln und Verfahren geprüft.

Ein zweiter Gedanke, der hinsichtlich seiner Auswirkung auf die Praxis in Zukunft von Bedeutung sein kann, richtet sich auf die Differenzierung des Grades des Frostwiderstands. Bisher ist das Kriterium einer ausreichenden Frostbeständigkeit bzw. des Frostwiderstandes in allen Verfahren der Schädigungsgrad bei einer bestimmten nicht variablen Prüfprozedur. Dabei wird jedoch nicht berücksichtigt, in welchen landschaftlichen bzw. klimatischen Verhältnissen der Baustoff verwendet wird, und welche tatsächliche, geographisch bedingte Beanspruchung auf den Baustoff jeweils wirkt. Es wird also hinsichtlich der Eigenschaft "Frostwiderstand" keine Klassifizierung vorgenommen, wie z.B. für die Festigkeit, auch wird nicht hinsichtlich der geographisch bedingten Beanspruchung, wie z.B. bei der Ermittlung der Schneelasten, nach DIN 1055 unterschieden.

Dies mag dazu führen, daß größtenteils Baustoffe mit hohem Frostwiderstand dort eingesetzt werden, wo sie einer nur vergleichsweise geringen Frost- bzw. Frost-Tau-Wechsel-Belastung ausgesetzt sind.

Wie die Auswertung der Klimadaten für 10 Städte der ehemaligen Bundesrepublik Deutschland ergeben hat - siehe 1. Teil -, bewegen sich die Temperaturen während des Winterhalbjahrs sowohl hinsichtlich ihrer Höhe als auch hinsichtlich ihrer Schwankungsbreite und Wechselanzahl an diesen Orten sehr unterschiedlich. Faßt man für jeden Ort die Temperaturwechsel zu "Lastkollektiven" zusammen, so können, ähnlich wie für die Annahme der Schneelast nach DIN 1055, nach dieser ersten Auswertung generell drei "Frost-Intensitätszonen" unterschieden werden. Sie wurden im Teil 1 mit A, B und C bezeichnet. Die Frostwechselkollektive sind in Bild 1 dargestellt.

Im zweiten Teil des Forschungsvorhabens sollten in Modifikation der ursprünglichen Zielrichtung an je einem Gebäude aus zwei unterschiedlichen Frostintensitätszonen die Klimakomponenten vor und hinter einer vorgehängten Fassade über drei Winter-



ausschusses wurden deshalb zwei Gebäude mit Klinkervormauerung gewählt.

Die Messungen des Kleinklimas sollten sowohl vor als auch hinter der vorgehängten Fassade erfolgen. Die zu erfassenden Meßwerte und die zu berücksichtigenden Parameter sind in Tabelle 1 in ihrer gegenseitigen Zuordnung dargestellt.

Eine Messung des Wind-Staudrucks hat sich in diesem Zusammenhang als zu aufwendig herausgestellt. Sie wurde deshalb nicht durchgeführt. Wie sich aus der Auswertung der anderen Meßergebnisse schließen läßt, erscheint eine solche Messung für die vorgesehene Aufgabenstellung von weniger großer Bedeutung.

Die Betreuung und eine Teilauswertung des Versuchsprogramms wurde bis Dezember 1991 maßgeblich von Dr.-Ing. H. Spornraft durchgeführt.

### 3. FASSADENAUFBAU

Der Aufbau der Fassaden war am Hamburger und am Münchener Gebäude sehr ähnlich: Die Wände waren als zweischalige Wände mit Kerndämmung und Hinterlüftung der äußeren Schale nach DIN 1053 ausgeführt. Die Wandkonstruktion bestand in München aus Hochlochziegeln, in Hamburg aus Beton. An beiden Gebäuden wurden zur Wärmedämmung Steinwolleplatten verwendet. Die Vormauerung war nach Steinart, Abmessungen und Fugenausbildung gleich. Im Fußbereich der Vormauerung ermöglichten regelmäßig angeordnete unvermörtelte Stoßfugen den Luftzutritt zum Luftspalt hinter der Fassade. Der Wandaufbau der beiden Gebäude ist in den Bildern 2 und 3 dargestellt.

Die Außenflächen der Gebäude hatten ein gleichartiges Aussehen. Sie wiesen keine Absätze, überstehende Gesimse oder ähnliches auf, so daß die Luftströmungsverhältnisse an der Wandaußenfläche als weitgehend gleich beurteilt werden können.

Der Fensteranteil war am Münchener Gebäude größer als am Hamburger Gebäude. Daraus ist ein größerer Einfluß auf die Luftströmung im Hinterlüftungsspalt zu erwarten.

Die beiden Gebäude weisen eine unterschiedliche Bebauung in ihrer Nachbarschaft auf. Während das Gebäude in Hamburg praktisch als freistehend gelten kann, weist

das Gebäude in München durch seine L-Bauweise und durch die westlich und östlich im Abstand von etwa 20 m benachbarten Gebäude ein von diesen Gebäuden beeinflusstes Klima - insbesondere bezüglich der Wind- und Sonneneinstrahlungsverhältnisse - auf. Die Lage des Hamburger Gebäudes ist im Bild 4, die des Münchener Gebäudes in Bild 5 dargestellt.

#### **4. MESSEINRICHTUNGEN**

##### **4.1 Allgemeines**

Zur Messung von Temperatur, Luftfeuchte, Schlagregenmenge und Sonneneinstrahlung wurden mit handelsüblichen elektronischen Bauelementen jeweils selbst entwickelte Meßeinrichtungen gebaut. Die einzelnen Meßeinrichtungen, insbesondere die Meßfühler für Temperatur und Feuchte wurden im Labor des Instituts für Werkstoffe des Bauwesens hinsichtlich Zuverlässigkeit und Meßgenauigkeit geprüft. Zur Sicherstellung der Stabilität der Meßfühler wurden im Labor und an einem Bürogebäude der Universität der Bundeswehr München in situ Vorversuche und ein Testlauf über mehrere Monate durchgeführt.

Die Windrichtung und die Windgeschwindigkeit wurden mit Hilfe eines einfachen elektronischen Verfahrens, das selbst entwickelt wurde, aufgezeichnet.

Die Meßleitungen von sämtlichen Meßstationen an einem Gebäude wurden über Leitungskanäle zu einer zentralen Meßstation, einem 30-Kanal-Schreiber, geführt. Dies erforderte Leitungslängen von bis zu rd. 35 m. Diese großen Leitungslängen bedingten den Einsatz von Meßverstärkern und eine damit verbundene Nachkalibrierung der Meßwertgeber in situ.

Sämtliche Meßstellen wurden während der Laufzeit und vor jeder neuen Meßperiode (Winterperiode) regelmäßig überwacht und gewartet. Dadurch konnten über den gesamten Versuchszeitraum von vier Winterperioden nennenswerte Störungen vermieden werden. Der durch korrosive Einflüsse bedingte Wartungsaufwand für die Meßstellen war in Hamburg deutlich geringer als in München.

Vor Beginn jeder Meßperiode wurde jeweils die gesamte Meßeinrichtung der beiden Gebäude kontrolliert. Mangelhaft erscheinende Meßfühler wurden durch neue ersetzt und die gesamte Anlage neu kalibriert.

## 4.2 Temperaturfühler

Zur Temperaturmessung wurden elektronische Temperaturfühler der Firma Völkner, Braunschweig, verwendet. Das Schaltbild ist in Bild 6 dargestellt. Die Fühler hatten eine angegebene Anzeigegenauigkeit von  $\pm 2$  K.

Jeder Temperaturfühler wurde im Labor kalibriert. Das Kalibrieren erfolgte mittels eines Quecksilberthermometers nach der in Bild 7 dargestellten Anordnung. Darin wurde über einen mit flüssigem Stickstoff ( $\text{LN}_2$ ) gekühlten Wärmetauscher Raumluft geleitet. Die so abgekühlte Luft wurde über einen regelbaren Heizdraht (Wendel) geführt und dort auf eine bestimmte, mit dem Quecksilberthermometer kontrollierte Temperatur erwärmt. An die Heizwendel schloß sich ein Rohr an, in dem ein weiteres Quecksilberthermometer zur Kontrolle, sowie der jeweils zu kalibrierende Temperaturfühler, angebracht waren. Die jeweils von Thermometer und Temperaturfühler angezeigten Temperaturwerte wurden in einer "Eichkurve" gegenübergestellt. Wurde der Meßbereich des elektronischen Geräts auf Temperaturen zwischen  $-10^\circ\text{C}$  und  $+50^\circ\text{C}$  eingestellt, so betrug die Genauigkeit der Temperaturwerte  $\pm 1$  K; bei einer Meßbereichserweiterung auf  $-30^\circ\text{C}$  bis  $+70^\circ\text{C}$  betrug die Meßgenauigkeit in den erweiterten Bereichen  $\pm 2$  K.

## 4.3 Feuchtefühler

Der Feuchtefühler wurde wie der Temperaturfühler von der Firma Völkner, Braunschweig, bezogen. Es handelt sich um einen kapazitiven Feuchtefühler. Das Schaltbild der elektronischen Schaltung für die Feuchtemessung ist in Bild 8 wiedergegeben. Die angegebene Anzeigegenauigkeit betrug  $\pm 5$  % rel. Feuchte.

Die Kalibrierung der Feuchtefühler erfolgte mittels eines geeichten Haarhygrometers. Der dazu verwendete Versuchsaufbau ist in Bild 9 dargestellt. Über einer elektrischen Heizplatte wurde in einem Glasgefäß Wasser verdampft. Durch eingeleitete Druckluft wurde ein Teil der dampfgesättigten Luft aus dem Glaskolben abgeführt und mit der Druckluft gemischt. Die sich dabei in dem Dampf-Luft-Gemisch einstellende Feuchtigkeit wurde anschließend in einem weiteren Glasgefäß mit Hilfe des geeichten Haarhygrometers und parallel dazu mit dem elektronischen Feuchtefühler gemessen. Der Feuchtefühler war über eine elektronische Schaltung (Auswerteelektronik) mit einem Mehrkanalschreiber verbunden.

Nachdem sich jeweils bei einem bestimmten Dampf-Luft-Gemisch im Luftstrom eine konstante Luftfeuchtigkeit eingestellt hatte, wurde die relative Luftfeuchte mit den beiden Meßgeräten parallel festgelegt und aufgezeichnet. Die Kalibrierung erfolgte in einem Bereich für die relative Luftfeuchte von 35 % bis 100 % (s. Bild 10: Korrelation der Meßwerte).

Aus den Kalibrierversuchen ergab sich, daß die Anzeigegenauigkeit des Feuchtefühlers gegenüber den mit dem Haarhygrometer ermittelten Werten  $\pm 5$  % relative Luftfeuchte als größtmögliche einstellbare Genauigkeit betrug, wenn der Meßbereich zwischen 30 % und 80 % r.H., oder zwischen 40 % und 100 % r.H. lag. Für die Messungen an den Fassaden wurde der letztgenannte Feuchtebereich (40 % bis 100 % r.H.) gewählt, da sich in den Vorversuchen an einer Blechfassade herausgestellt hatte, daß es bei Niederschlägen unter Umständen rasch zu einer Kondenswasserbildung im Hinterlüftungsraum der Fassade kommen kann.

#### **4.4 Schlagregen-Meßeinrichtung**

Der auf die Fassade auftreffende Regen sollte nach Menge und Niederschlagsdauer gemessen werden. Dazu wurde der Schlagregen mit einer ca. 5 cm vor der Fassade befestigten Platte aus PVC aufgefangen ( Bild 12) und entlang zweier symmetrisch zur Mittelachse der Platte angeordneter schräger Leisten gesammelt und trichterförmig nach unten in ein Kupferrohr geleitet. Die aus dem Kupferrohr austretenden Tropfen stellten einen elektrischen Kontakt zwischen zwei Silberelektroden her. Damit wurde die Tropfenfrequenz über einen Frequenzspannungswandler, unabhängig von der Leitfähigkeit des Regenwassers, erfaßt.

Ein Einfrieren der Tropfenzähleinrichtung wurde dadurch verhindert, daß innerhalb des Kastens mit der Tropfenrichtung neben jeder Elektrode je eine Glühbirne mit einer Leistung von 8 Watt angeordnet war. Die Tropfenzähleinrichtung ist in Bild 13 dargestellt; Bild 14 zeigt den Schaltplan des Tropfenfrequenzspannungswandlers. Die Meßeinrichtung wurde im Labor durch Berieseln mit unterschiedlichen Beaufschlagungsmengen getestet und für unterschiedliche Beaufschlagungsmengen kalibriert. Die maximale faßbare Regenmenge betrug 13 ml/cm<sup>2</sup>·h.

#### 4.5 Windmessung

Auf dem Dach (Flachdach) der Gebäude wurden Windrichtung und Windgeschwindigkeit gemessen. Beide Meßeinrichtungen waren auf einem stabilen Stahlrohr etwa 2 m über der Dachfläche stationiert. Die Messung der mittleren Windgeschwindigkeit erfolgte über ein Löffelrad, das einen Generator antrieb; die Böigkeit blieb unberücksichtigt. Das elektrische Signal in Form einer Gleichspannung wurde einer definierten Umdrehungszahl zugeordnet und aufgezeichnet. Die Windgeschwindigkeit wurde in Beaufort angegeben.

Die Windrichtung wurde über einen frei drehbaren 12-Stufen-Schalter, entsprechend der Orientierung des Flügels der Wetterfahne, abgetastet. Die Richtungssignale wurden in zugeordnete elektrische Spannungen umgewandelt. Diese Meßeinrichtung ist unmittelbar unter dem Flügel angeordnet worden. Die zwischen den 12 Einzelkontakten angeordneten Dioden erzeugten jeweils eine Spannungsdifferenz von 0,7 Volt. Die Signale wurden dem Meßschreiber zugeführt.

#### 4.6 Intensität der Sonneneinstrahlung

Zur Messung der Intensität der Sonneneinstrahlung wurde die Leerlaufspannung einer Solarzelle registriert. Es kamen handelsübliche Silizium-Solarzellen (25 x 45 mm<sup>2</sup>) zur Anwendung, die vertikal -mit der aktiven Fläche nach Ost bzw. West orientiert -

**Tabelle 2:** Einstufung der gemessenen Solarzellenspannung

Spannung [mV]	Lichtwert [L]	visuelle Beobachtung
0 - 1	0 - 5	Dunkelheit
1 - 50	5 - 7	dunkle Dämmerung
50 -100	7 - 10	helle Dämmerung
100 -150	10 - 12	dicht bewölkt
150 -200	12 - 14	leicht bis mittel bewölkt
200 -250	14 - 17	dunstig bis klar
>250	> 17	volle Sonneneinstrahlung

auf die Schaltkästen der Meßkonsole aufgeklebt wurden. Sie wurden mit einer lichtdurchlässigen Polystyrolscheibe geschützt. Bild 19 zeigt die Anordnung der Meßeinrichtung. Das Polystyrol wurde im Beobachtungszeitraum nicht matt, so daß eine konstante Lichtdurchlässigkeit gegeben war. Die gemessenen Spannungen entsprechen Lichtwerten, die nach visueller Beobachtung in 7 Kategorien eingeteilt wurden. Die Skala der Intensitätsabstufung ist in Tabelle 2 wiedergegeben.

#### **4.7 Erfassung der Meßdaten**

An den für die Messungen ausgewählten Gebäuden sind die in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Meßeinrichtungen - wie in Bild 15 dargestellt - angebracht worden.

Die Einrichtungen für die Schlagregenmessungen sind in rund 3,6 und 9 m Höhe über der Gebäudeunterkante an den Fassadenwänden positioniert worden. In gleicher Höhe sind die Temperatur- und Feuchte-Meßfühler (Bild 16) zur Messung des Kleinklimas hinter der vorgehängten Fassade durch die Vormauerung geführt worden. Feuchte und Temperatur vor der Fassade wurden in 6 m Höhe, etwa 50 cm entfernt von der Fassade, gemessen (Bild 14). In dem abgebildeten Gehäuse, der sogenannten Konsole, war der Temperatur-Feuchte-Fühler untergebracht.

Von den Meßeinrichtungen vor und hinter den Fassaden und von den Meßeinrichtungen auf dem Dach führten Meßleitungen zu einem zentralen Klemmbrett. Die gemessenen Werte wurden mittels eines 30-Kanalschreibers mit Meßstellenumschaltung im 3stündigen Intervall registriert und als kontinuierliche Kurven aufgezeichnet bzw. alphanumerisch registriert.

## **5. MESSERGEBNISSE**

### **5.1 Zeitraum der Messungen**

Die Meßanlage wurde in der 45. Kalenderwoche 1988 in Hamburg angebracht; die Montage der Münchner Meßanlage erfolgte in der 47. Kalenderwoche 1988. Entsprechend der Besprechung des Betreuungsausschusses am 15. April 1988 wurden die Klimamessungen an den beiden ausgewählten Gebäuden (Hamburg und München) in

den Winterperioden 1988/89, 1989/90 und 1990/91 jeweils vom 01. November bis zum 30. April durchgeführt.

Bei der Versuchsplanung war von zahlreichen Frost-Tau-Wechseln innerhalb einer Winterperiode ausgegangen worden.

In den obengenannten vorgesehenen Meßperioden waren die Witterungsverhältnisse sehr mild, so daß nach Absprache mit dem Institut für Bautechnik Berlin der Meßzeitraum um eine vierte Winterperiode (1991/92) verlängert wurde.

Innerhalb der 4 Winterperioden wurde die Anzahl der Nulldurchgänge und Temperaturwechsel für beide Gebäude ermittelt (Bild 18).

Die Auswertung der Meßdaten ergab, daß die Meßergebnisse in Hamburg und München sehr typische Kurvenverläufe zeigen; deshalb wurden für den vorliegenden Bericht exemplarisch 4 Meßabschnitte aus Hamburg und 5 Meßabschnitte aus München ausgewählt, die repräsentativ für alle Meßbereiche sind, in denen die Temperaturwerte um 0 °C schwanken oder unter 0 °C liegen.

Die ausgewählten 9 Meßperioden erfassen folgende Zeiträume:

Hamburg 1	18.01.91 - 21.01.91
Hamburg 2	08.12.91 - 12.12.91
Hamburg 3	13.02.91 - 24.02.91
Hamburg 4	08.12.89 - 15.12.89
München 1	15.02.91 - 17.02.91
München 2	26.12.90 - 31.12.90
München 3	11.01.91 - 20.01.91
München 4	30.11.90 - 09.12.90
München 5	28.12.91 - 30.12.91

Die über den Vielkanalschreiber auf Papierstreifen registrierten Daten wurden von diesen abgelesen, in eine EDV-Anlage eingegeben und auf Diskette gespeichert. Sie wurden dann über ein Datenverarbeitungsprogramms ausgewertet.

## 5.2 Vergleich von Temperatur und Luftfeuchte in München und Hamburg

Die Bilder 19 und 20 zeigen den typischen Verlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchte vor der Ost-, West- und Nordfassade der Gebäude in München und Hamburg für die ausgewählten 9 Meßperioden.

Der Verlauf der Temperatur- und Feuchtekurven der ausgewählten Meßperioden weist deutlich aus, daß sowohl die Temperatur als auch die relative Luftfeuchte in Hamburg (Bild 19) wesentlich weniger und geringeren Schwankungsamplituden unterworfen sind als in München (Bild 20).

Auch ein Vergleich der Summen der Temperaturwechsel des gesamten Beobachtungszeitraums im Bereich um 0°C und niedriger (Bild 18) bestätigt eindeutig, daß das Hamburger Klima wesentlich ausgeglichener und milder ist als das Klima im Münchener Raum. So wurden in München bei Verwendung des 2K-Schrittes über den Zeitraum der beobachteten vier Winterperioden 200 Temperaturwechsel registriert. In Hamburg traten im gleichen Meßzeitraum 61 entsprechende Temperaturwechsel auf. Während die Temperatur in Hamburg viermal als Minimalwert -7°C erreichte, sank die Temperatur in München zehnmal auf -13°C ab.

Um einen objektiven Vergleich der beiden Meßorte zu erreichen, wurden zur Überprüfung der eigenen Meßwerte die Temperaturwerte der Meßstellen des Deutschen Wetterdienstes in München (Station Oberschleißheim) und in Hamburg (Station Hamburg-Wansbek) verwendet. Die Werte des Wetterdienstes stimmen weitgehend mit den im Rahmen dieses Forschungsauftrags gemessenen Werten der Temperatur und der relativen Luftfeuchte vor der Fassade überein. Für auftretende Abweichungen wird als Ursache das sich für jedes Gebäude spezifisch einstellende Kleinklima angenommen, das durch Nachbargebäude, Bepflanzung etc. entsteht.

## 5.3 Temperatur und Luftfeuchte vor und hinter der Fassade

Die Bilder 21 bis 29 zeigen den Verlauf von Temperatur und relativer Luftfeuchte hinter der Fassade in Abhängigkeit von Himmelsrichtung und Höhenlage des Meßfühlers (Hinterfassadenklima). Sie entsprechen zeitlich den in den Bildern 19 und 20 dargestellten Außenluftverhältnissen.

Auffallend ist die bemerkenswerte Parallelität der Temperaturkurven des Außenklimas (Bild 19 und 20) in den Himmelsrichtungen Ost, Nord und West als auch die der Temperaturkurven des Hinterfassadenklimas (Bild 21 bis 29) bei verschiedenen Höhenlagen des Meßfühlers, 3 ,6 und 9m. Ein entsprechendes Verhalten wurde für den Verlauf der Feuchtekurven festgestellt (Bild 19 und 20 sowie 21 bis 29). Die Schwankungsamplitude der auftretenden Temperatur- und Feuchtemaxima bzw. -minima ist hinter der Fassade weniger stark ausgeprägt.

Die Summen der Kollektivbelastungen bezüglich der Temperatur, aufgeteilt in 2K-Schritten, sind in den Bildern 39 bis 44 dargestellt; die Kollektivbelastungsdiagramme bezüglich der relativen Luftfeuchte, im 10%-Schritt, zeigen die Bilder 45 bis 50. In den Kollektivbelastungsdiagrammen sind die Daten des gesamten Meßzeitraums erfaßt.

**Tabelle 3:**

Summen der Temperaturwechsel in 2K-Schritten im Temperaturbereich +10°C bis -8°C

			MÜNCHEN	HAMBURG
<b>OST</b>	vor der Fassade	Konsole	131	55
	hinter	3m Höhe (unten)	89	37
	der	6m Höhe (Mitte)	90	40
	Fassade	9m Höhe (oben)	93	39
<b>NORD</b>	vor der Fassade	Konsole	88	53
	hinter	3m Höhe (unten)	58	28
	der	6m Höhe (Mitte)	51	34
	Fassade	9m Höhe (oben)	60	27
<b>WEST</b>	vor der Fassade	Konsole	110	54
	hinter	3m Höhe (unten)	67	26
	der	6m Höhe (Mitte)	79	30
	Fassade	9m Höhe (oben)	90	20

In Tabelle 3 werden die Summen der Temperaturwechsel für Hamburg und München miteinander verglichen. Dabei zeigt sich, daß an beiden Meßstellen die Anzahl der Temperaturwechsel vor der Fassade (Außenklima) deutlich größer ist als die hinter der Fassade. Diese Verminderung der Anzahl der Temperaturwechsel tritt im Bereich

um 0°C (s. Tabelle 4) und darunter besonders ausgeprägt auf und läßt auf eine äußerst geringe Frostbelastung der Baustoffe im Hinterfassadenraum schließen.

**Tabelle 4:**

Anzahl der Wechsel im 2K-Schritt im Temperaturbereich +0,5°C bis -1,5°C

			MÜNCHEN	HAMBURG
<b>OST</b>	vor der Fassade	Konsole	25	15
	hinter	3m Höhe (unten)	12	4
	der	6m Höhe (Mitte)	7	4
	Fassade	9m Höhe (oben)	5	1
<b>NORD</b>	vor der Fassade	Konsole	16	11
	hinter	3m Höhe (unten)	10	6
	der	6m Höhe (Mitte)	6	3
	Fassade	9m Höhe (oben)	7	-
<b>WEST</b>	vor der Fassade	Konsole	20	8
	hinter	3m Höhe (unten)	11	3
	der	6m Höhe (Mitte)	9	2
	Fassade	9m Höhe (oben)	10	1

Die Temperatur des Außenklimas liegt in der Regel unter den Temperaturen des Hinterfassadenklimas. Der Temperaturunterschied beträgt im Mittel 3-4 K.

Die Messungen ergaben, daß die Temperaturwerte hinter der Fassade nur sehr selten über einen längeren Zeitraum unter 0°C abfielen. Ein starkes Absinken der Hinterfassadentemperatur war nur in wenigen Ausnahmefällen beobachtbar; so in Bild 21, Hamburg 1, Nordfassade, unten; Bild 23, Hamburg 3, Westfassade, unten; Bild 28, München 4, Ost- und Nordfassade, unten und Mitte. Vergleicht man diese Meßstellen, so fällt auf, daß Temperaturen  $\leq 0^\circ\text{C}$  fast ausschließlich am niedrigst gelegenen Meßpunkt, also in 3m Höhe über Boden, und besonders häufig hinter Nordfassaden registriert wurden. Ein Absinken der Temperatur unter 0°C tritt an diesen Stellen auch nur dann auf, wenn die Außentemperaturen über einen längeren Zeitraum extrem niedrig sind (bis  $-15^\circ\text{C}$ ). Diese Voraussetzung wurde offensichtlich nur an der Nordseite der Gebäude wegen der fehlenden Sonneneinstrahlung erfüllt.

**Tabelle 5:**

Summen der Feuchtewechsel in 10%-Schritten im Bereich von 40 bis 100% relative Luftfeuchte

			MÜNCHEN	HAMBURG
<b>OST</b>	vor der Fassade	Konsole	133	48
	hinter	3m Höhe (unten)	87	59
	der	6m Höhe (Mitte)	53	40
	Fassade	9m Höhe (oben)	55	51
<b>NORD</b>	vor der Fassade	Konsole	145	40
	hinter	3m Höhe (unten)	55	40
	der	6m Höhe (Mitte)	70	54
	Fassade	9m Höhe (oben)	42	66
<b>WEST</b>	vor der Fassade	Konsole	127	44
	hinter	3m Höhe (unten)	43	70
	der	6m Höhe (Mitte)	87	72
	Fassade	9m Höhe (oben)	76	64

Die Gegenüberstellung der Anzahl der Feuchtewechsel für München und Hamburg in Tabelle 5 ergibt eindeutig, daß im Münchner Raum die Anzahl der Feuchtewechsel vor der Fassade sehr hoch ist, während das Hinterfassadenklima aufgrund einer niedrigeren Anzahl von Feuchtewechseln als beständiger und ausgeglichener eingeschätzt werden kann.

Bei der Auswertung der Feuchtemessungen in Hamburg konnten keine eindeutigen Unterschiede zwischen der Außenklimafeuchte und der Hinterfassadenfeuchte festgestellt werden. Während in Nord - und Westrichtung die Anzahl der Feuchtewechsel vor der Fassade gleich bzw. deutlich geringer ist als hinter der Fassade, konnte in Ostrichtung kein nennenswerter Unterschied in der Anzahl der Feuchtewechsel des Vor- und Hinterfassadenklimas beobachtet werden.

Deutlich erkennbar ist, daß die Feuchte vor der Fassade fast immer höher ist als die Feuchte hinter der Fassade (außer München 5, Bild 38). Die Feuchteunterschiede betragen maximal 35% rel. Luftfeuchte.

Vergleicht man den Verlauf der relativen Feuchte hinter und vor der Fassade, so zeigt sich, daß der Luftfeuchtegehalt zwischen Außenklima und Hinterfassadenklima besonders dann stark differiert, wenn die Außentemperatur unter 0°C absinkt bzw. um 0°C schwankt (z.B. Bild 30, Hamburg 1, Nordfassade, 36 Std.; Bild 32, Hamburg 3, Nordfassade, 132 Std., 162 Std., 234 Std.; Bild 33, Hamburg 4, Ost-, West- und Nordfassade, 42 Std.).

Desweiteren konnte festgestellt werden, daß Temperaturänderungen der Außenluft stets Feuchteänderungen in der Hinterlüftung zur Folge haben; so bewirkt ein Absinken der Außentemperaturen ein Ansteigen der Luftfeuchte hinter der Fassade und umgekehrt (Bild 27, München 3, 108 bis 240 Std., Bereich der starken Schwankungen).

Die Feuchteänderungen hinter der Fassade wurden mit einer zeitlichen Phasenverschiebung zur Temperaturänderung von 3 Stunden registriert. Die effektive zeitliche Verschiebung kann durchaus kürzer sein, ist aber aus meßtechnischen Gründen nicht registrierbar. Falls innerhalb der zeitlichen Meßabstände eine Änderung des Feuchtegehalts hinter der Fassade aufgetreten sein sollte, die als Reaktion auf die Änderung der Temperatur vor der Fassade zu werten wäre, so erfolgt offensichtlich ein schneller Ausgleich, so daß sie als Ursache für einen Schadensmechanismus infolge Frosteinwirkung unerheblich erscheint. Das bedeutet, daß der Ausgleich der von der Außenluft auf die Spaltluft (Hinterfassadenluft) übertragenen Feuchteschwankungen von untergeordneter Bedeutung sein muß.

#### **5.4 Einfluß der Meßstellenlage**

Die Meßstellen zur Innenklimamessung befanden sich an der Ost-, Nord- und Westseite in 3, 6 und 9 m Höhe, bezogen auf die Gebäudeunterkante.

Unabhängig von der Himmelsrichtung wurde sowohl für die Temperatur als auch für Feuchte hinter der Fassade von unten (3 m Höhe) nach oben (9 m Höhe) ein Ansteigen der Werte registriert. Dieser Gradient ist an der Ostseite am stärksten ausgeprägt und an der Nordseite am geringsten. Offensichtlich treten hinter den Fassaden Wärmeströme auf. Bei intensiver Sonnenbestrahlung wird der Gradient größer (s. 5.5).

In Tabelle 3 werden die Temperaturwechsel für München und Hamburg vor und hinter der Fassade, sowie in Abhängigkeit von Himmelsrichtung und Höhenlage des Meßfühlers miteinander verglichen.

Für München ergibt sich, daß die Anzahl der Temperaturwechsel an der Ostfassade am höchsten ist, während eine vergleichsweise geringe Anzahl von Temperaturwechseln an der Münchner Nordseite registriert wurde. Die Anzahl der Temperaturwechsel zeigt in Nord- und Ostrichtung keinen eindeutigen Einfluß der Höhe der Meßstelle, dagegen steigt die Anzahl der Temperaturwechsel hinter der Westfassade von 3 m bis 9 m Höhe an.

Die Anzahl der Temperaturwechsel ist in Hamburg in Nord- und Westrichtung hinter der Fassade fast gleich, während die Anzahl der Temperaturwechsel hinter der Ostfassade etwas höher liegt als die der anderen Himmelsrichtungen. Prinzipiell konnte für die Temperaturwechselanzahl keine Abhängigkeit von der Höhenlage der Meßfühler registriert werden.

Wie die Bilder 21 bis 29 ausweisen, liegen die hinter der Nordfassade gemessenen Temperaturwerte prinzipiell niedriger als die hinter der Ost- und Westfassade gemessenen Werte. In Hamburg betrug die Differenz in den meisten Fällen 3 K; bei den Münchner Meßdaten lag der Temperaturunterschied zwischen 1 - 2 K.

Die Auswertung der Feuchtemessungen ergab nur geringe Unterschiede bezüglich des Einflusses der Himmelsrichtung. Aber auch hier zeigen die hinter den nördlichen Fassaden aufgenommenen Feuchtekurven einen ausgeglicheneren Kurvenverlauf als die der Ost- und Westfassade (s. Tabelle 5).

Bei einem Vergleich der Fassadeninnenklimamessungen fällt die ausgeprägte Parallelität der jeweiligen Kurvenzüge für die Temperatur und die Feuchte auf, die in der in Bild 36 dargestellten Meßwertreihe besonders deutlich wird. Die als logische Folge der Temperaturänderungen auftretenden Feuchtveränderungen, wurden auch hier aus den bereits beschriebenen Gründen (s. 5.3) um 3 Stunden phasenverschoben registriert.

## 5.5 Einfluß von Sonne und Wind

In den Bildern 30 bis 38 wurden die Meßdaten der Wind- und Sonneneinstrahlung sowie des Schlagregeneinflusses den Diagrammen von Temperatur und relativer Luftfeuchte vor und hinter der Fassade hinzugefügt. Die Darstellungen enthalten sowohl die Lichtwerte der Sonneneinstrahlung Ost als auch die der Sonneneinstrahlung West. Die Lichtwerte lassen sich entsprechend den in Tabelle 2 angegebenen Einstufungen bestimmten Helligkeitswerten zuordnen. Demzufolge ergibt sich, daß während der ausgewerteten 9 Meßabschnitte die Sonneneinstrahlung sehr häufig als "dunstig bis klar" eingestuft werden muß. In einigen Fällen steigen die Lichtwerte über 16 L an, d.h. der Himmel ist dann "überwiegend unbewölkt". Unter den letztgenannten Verhältnissen treten Schwankungen im Temperaturverlauf auf, die in Bild 32 (Hamburg 3) und in den Bildern 34 bis 38 (München 1 - 5) deutlich erkennbar sind, der Verlauf der Außentemperatur (Konsolenwert) zeigt unmittelbar unter dem Einfluß der Sonneneinstrahlung ein Ansteigen (s. 5.4).

Die Außentemperaturzunahme bei Sonneneinstrahlung mit Lichtstärken  $> 16$  L beträgt im Extremfall 4 K/h (Bild 38, München 5, Ost- und Westkonsole, 21 - 22 Stunden). Als Folge der Erhöhung der Außentemperatur steigen auch die Hinterfassadentemperaturen. Die Geschwindigkeit des Temperaturanstiegs hinter der Fassade ist wesentlich geringer, maximal 2 K/h, als die vor der Fassade. Sie tritt um 3 Stunden phasenverschoben auf (Bild 36, München 3, Ost- und Westseite). Mit der Temperaturänderung ist auch die gesetzmäßige Änderung der Luftfeuchte verbunden. Darüber hinaus konnten keine Besonderheiten registriert werden.

Die Bilder 30 bis 38 zeigen, daß auch die Außenfeuchte (Konsolenwert) im engen Zusammenhang mit der Sonnenscheineinstrahlung steht. So lassen die Feuchteverläufe in Bild 34 (München 1) ein Abfallen der Außenfeuchte bei Sonnenscheineinstrahlung  $> 16$  L erkennen. In dem angeführten Beispiel sinken die Werte der rel. Luftfeuchte an der Ost- und Westseite von fast 100 % rel. Luftfeuchte bis auf 60 - 70 % rel. Luftfeuchte ab. Zum gleichen Zeitpunkt wurde an der Nordfassade ein geringerer Feuchteabfall beobachtet, die Differenz betrug hier ca. 20 %. Ein ähnliches Feuchteverhalten zeigt der Kurvenverlauf in Bild 36 (München 3). Während im ersten Meßabschnitt (bis 80 Stunden) die Sonneneinstrahlung maximal Werte von 12 - 15 L erreichte, nahm die Intensität der Sonneneinstrahlung im folgenden Meßzeitraum (im Bereich von 84 - 220 Stunden) zu. Im letztgenannten Meßbereich wurden bei Sonnenhöchststand Lichtwerte von ca. 18 L registriert. Als

Folge zeigte die relative Luftfeuchte im ersten Meßabschnitt ein relativ beständiges Verhalten, hingegen treten im zweiten Meßabschnitt starke Schwankungen der Außenfeuchte auf. Was bereits bei den Temperaturwerten registriert werden konnte, zeigt sich auch bei den Luftfeuchtwerte: hinter der Fassade treten wesentlich geringere Feuchteschwankungsamplituden und -frequenzen auf als vor der Fassade.

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß natürlicher Wind als ein nichtstationärer Luftströmungsvorgang anzusehen ist, dessen Stärke im wesentlichen eine Funktion der Höhe über dem Gelände und der Zeit ist, und daß in-situ-Windmessungen andererseits auch noch von einer Vielzahl weiterer Faktoren, wie Umgebungsform, Gebäudeform, Landschaftsformen, Nachbebauung und -bepflanzung, stark beeinflusst werden, ergibt sich der Schluß, daß eine exakte Beurteilung der Windeinflüsse kaum möglich ist.

Das bestätigen auch die durchgeführten Untersuchungen. So lassen sich bei bestimmten Windverhältnissen keine spezifischen Veränderungen im Temperatur- und Feuchteverlauf beobachten.

Die Vielzahl der gleichzeitig wirkenden Einflußfaktoren verhindert eine sinnvolle Zuordnung der Windeinflüsse.

## **5.6 Regenbeanspruchung**

Wie aus den in den Bildern 30 bis 38 dargestellten Meßdatenreihen ersichtlich ist, konnte eine Regenbelastung der Außenfassade nur zweimal registriert werden; Bild 33 (Hamburg 4) und Bild 36 (München 3). In beiden Fällen wurden in allen 3 Höhenlagen zum gleichen Meßzeitpunkt die gleiche Regenmenge registriert. Da keine Unterschiede feststellbar waren, erschien eine Einzeldarstellung der 3 Höhenlagen nicht notwendig. Ein Vergleich unserer Aufzeichnungen mit denen der jeweiligen Meßstationen der Wetterämter ergab, daß die im Rahmen dieser Untersuchungen registrierte Häufigkeit der Beaufschlagung der Wand durch Regen deutlich geringer war als die Zahl der Regenfälle.

Bezieht man die Windmessungen in die Betrachtungen ein, so zeigt sich, daß zu den Zeiten der Regenbelastung der Fassade Windgeschwindigkeiten der Stärke 2 (Bild 36, München 3) und der Stärke 3 - 4 (Bild 33, Hamburg 4) gemessen wurden. Regen, der bei geringeren Windstärken fiel, gelangte offensichtlich nicht zur

Regenmeßeinrichtung und belastete demzufolge auch die Außenfassade nicht unmittelbar.

In den betrachteten Zeiträumen wurde nur zweimal "Regenbelastung der Wand" registriert. Aus diesem Grund konnten keine verallgemeinernden Schlußfolgerungen zum Einfluß der kombinierten Belastung Regen/Wind auf das Vor- bzw. Hinterfassadenklima getroffen werden.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Die klimatische Belastung der Gebäude in Hamburg und München entsprach weitgehend den im Teil 1 des Forschungsvorhabens ermittelten Daten.

Die Untersuchungen ergaben, daß sowohl in München als auch in Hamburg hinter der vorgehängten Fassade ausgeglichene klimatische Verhältnisse herrschen; die Temperaturen sinken nur in wenigen Fällen unter 0°C ab. Die Hinterfassadentemperaturen liegen im Mittel etwa 4 K über den Außentemperaturen. Die Anzahl der Temperaturwechsel ist hinter der Fassade wesentlich geringer als vor der Fassade. Mit zunehmender Höhe der Meßstelle, d.h. mit steigendem Abstand von der Gebäudeunterkante, wurde ein Ansteigen der Temperatur festgestellt.

Während an der Hamburger Meßstation die Anzahl der Feuchtwechsel vor und hinter der Fassade etwa gleich groß ist, wurden an der Münchner Meßstation vor der Fassade (Außenklima) etwa 3 mal so viele Feuchtwechsel wie hinter der Fassade registriert. Die Anzahl der Feuchtwechsel hinter der Fassade ist an beiden Meßstationen in etwa gleich.

Die Außenluftfeuchte weist immer höhere Werte auf als die Hinterfassadenfeuchte. Die Differenz zwischen den Feuchtwerten wird besonders groß, wenn die Außentemperaturen unter 0° C sinken.

Der Niederschlag gelangte nur in zwei Fällen bei einer gleichzeitigen Windstärke von etwa 3 Beaufort an die Fassade. Da die Fassade ansonsten nicht belastet wurde, können verallgemeinernde Aussagen zum Einfluß Schlagregen, also Wind mit Regen, nicht getroffen werden.

Sonneneinstrahlung mit Lichtwerten über 16 L verursacht starke Schwankungen im Temperatur- und somit auch im Feuchteverlauf vor und hinter der Fassade.

## 7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Ziel dieser Arbeit war, die Belastung der Fassadenbaustoffe an ihrer Rückseite im Verhältnis zum Außenklima, unter Berücksichtigung verschiedener Klimafaktoren, zu untersuchen.

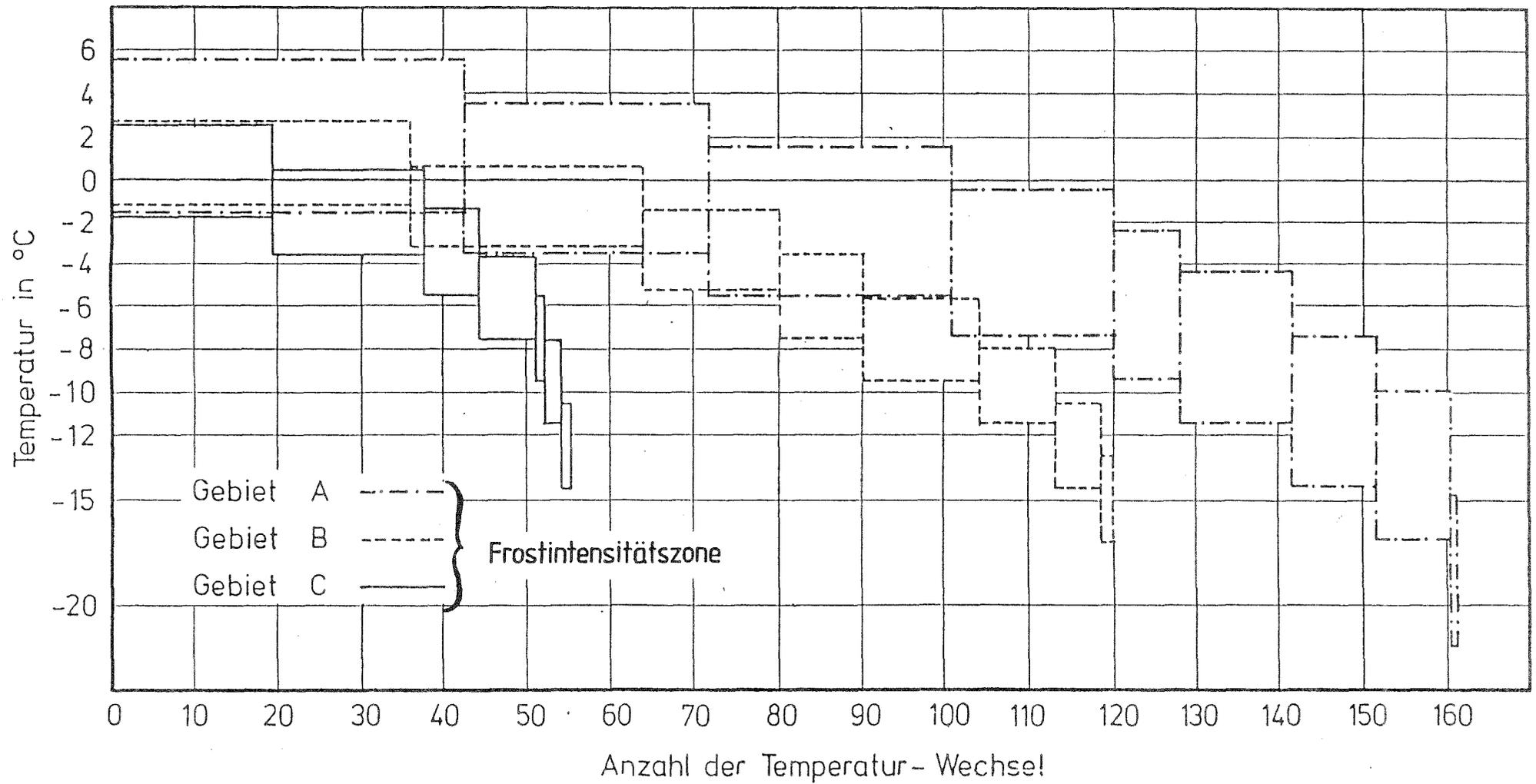
Die Messungen führten zu dem Ergebnis, daß bei dem zur Untersuchung benutzten "quasiidealen" Untersuchungsmaterial Klinker die Temperatur und Feuchtigkeitsverhältnisse hinter der Fassade deutlich milder waren als vor der Fassade.

Vergleicht man die Meßergebnisse an der Klinkerfassade mit den Ergebnissen aus den Vorversuchen, die an einer Blechfassade durchgeführt worden sind, so ist festzustellen, daß infolge der wesentlichen höheren Wärmeleitfähigkeit der Blechfassade Änderungen des Außenklimas auch starke Veränderungen des Hinterfassadenklimas der Blechfassade bewirkten. So traten hinter der Blechfassade bei relativ geringen Temperaturänderungen der Außenluft Kondenswasserbildungen auf; demgegenüber wird hinter der untersuchten Klinkerfassade eine Kondenswasserbildung (100 % rel. Luftfeuchte) nicht beobachtet.

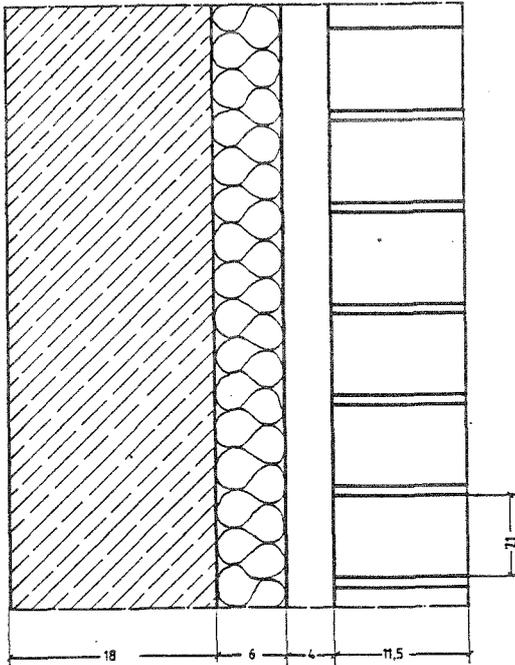
Das macht deutlich, daß das Hinterfassadenklima in hohem Maße vom Fassadenbaustoff beeinflusst wird.

Für eine zielsichere und damit auch kostengünstige Verwendung von Fassadenbaustoffen und der dazugehörigen Befestigungskonstruktion erscheint es deshalb empfehlenswert, die Witterungsbeständigkeit (Frostbeständigkeit) der Fassadenelemente in einem Prüfverfahren nachzuweisen, das infolge der wiederholten Aneinanderreihung von Kollektivbelastungen eine Differenzierung der Baustoffe hinsichtlich ihrer Frostwiderstandsfähigkeit ermöglicht. Die könnte zu einer, den Festigkeitsklassen entsprechenden, Klasseneinteilung für die Witterungsbeständigkeit (Frostbeständigkeit) von Fassadenelementen - aber auch anderen Baustoffen - führen.

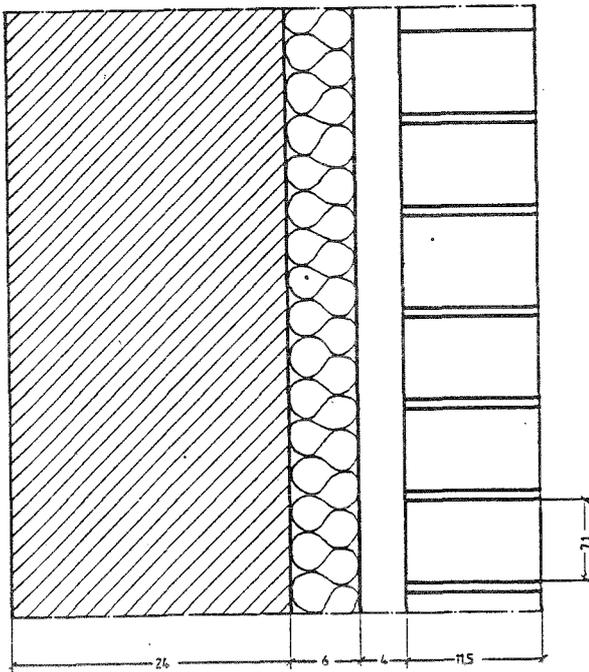
## **ANHANG**



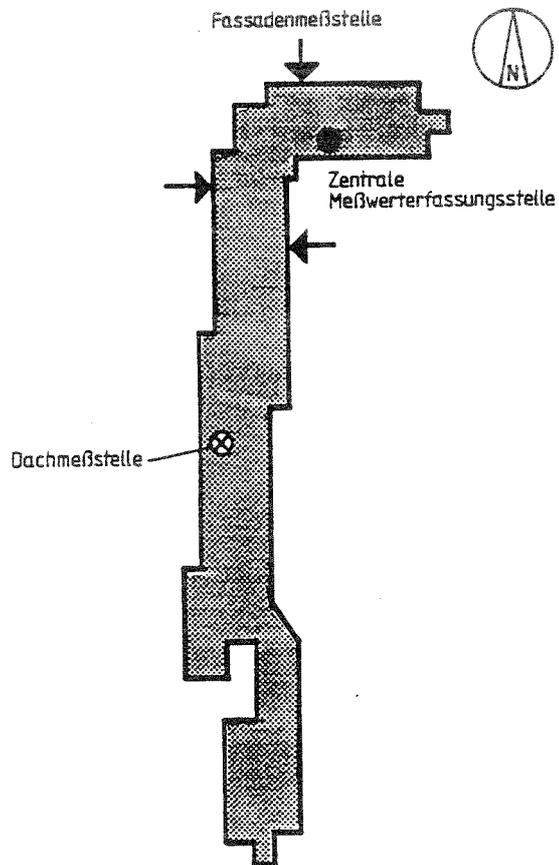
**Bild 1:** Frostwechsel-Kollektivbelastungen der Frostintensitätszone A, B, C (nach Teil 1 des Forschungsvorhabens)



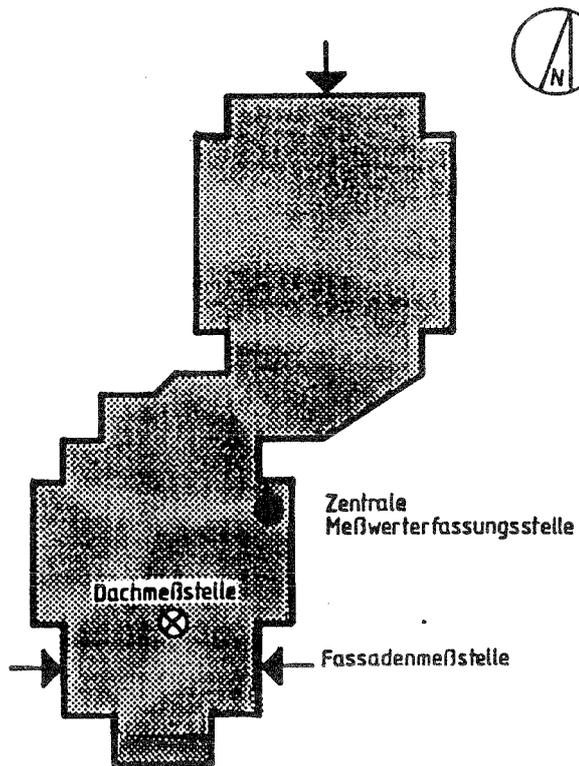
**Bild 2:** Wandaufbau des Hamburger Gebäudes



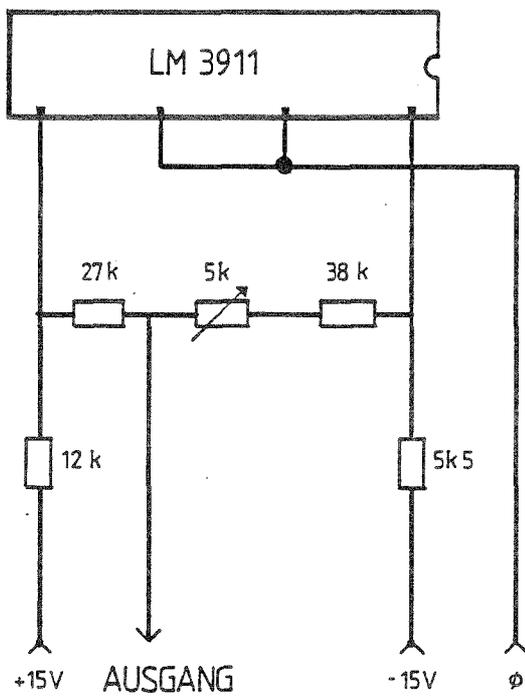
**Bild 3:** Wandaufbau des Münchner Gebäudes



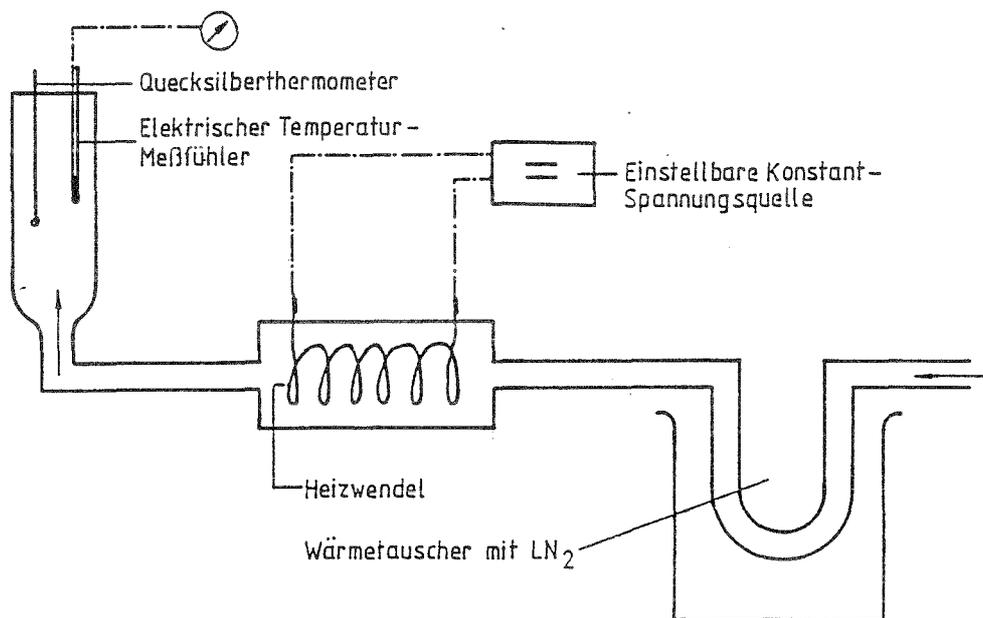
**Bild 4:** Lage des Münchner Gebäudes



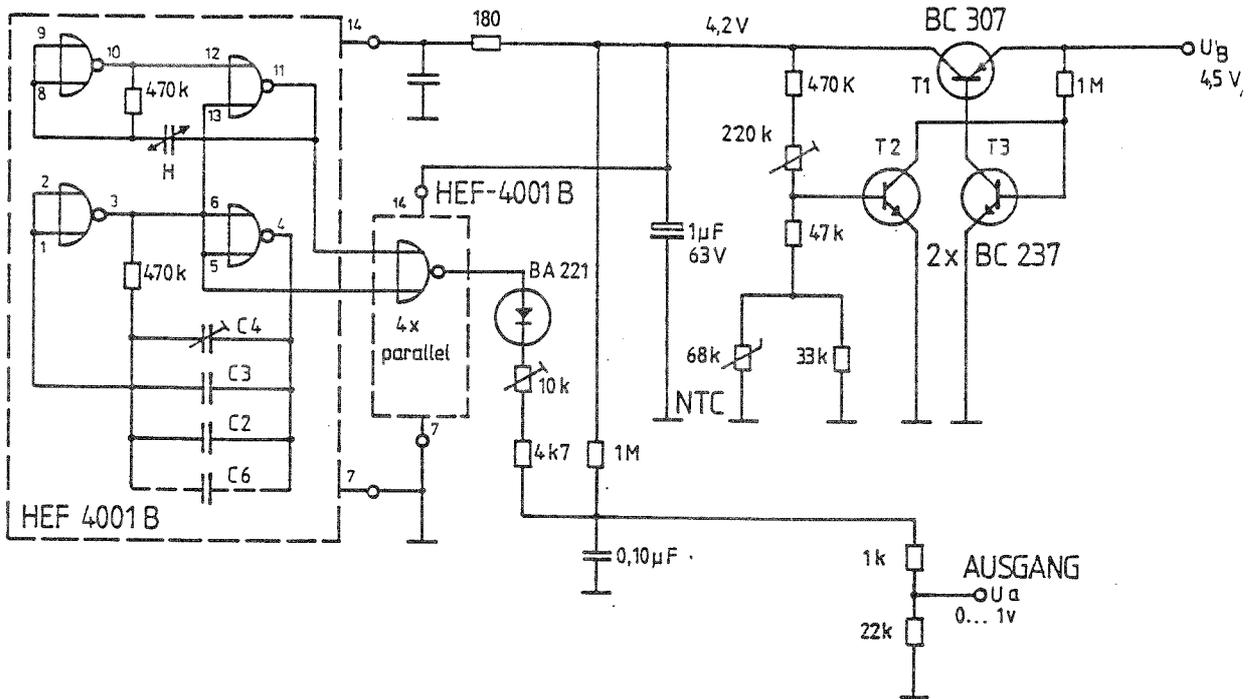
**Bild 5:** Lage des Hamburger Gebäudes



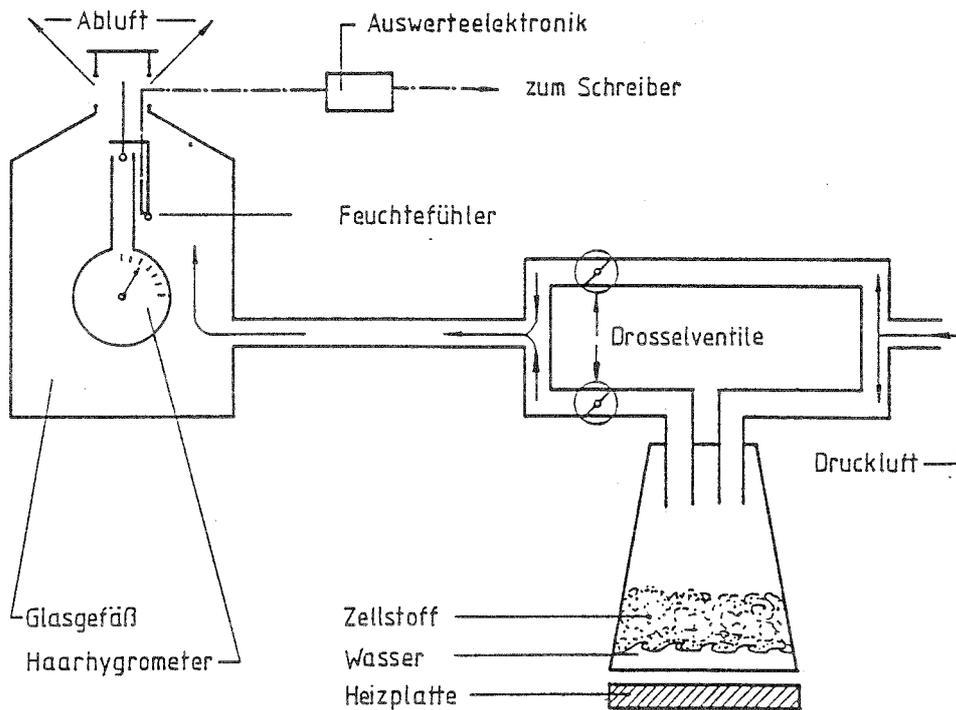
**Bild 6:** Schaltbild des Temperaturfühlers



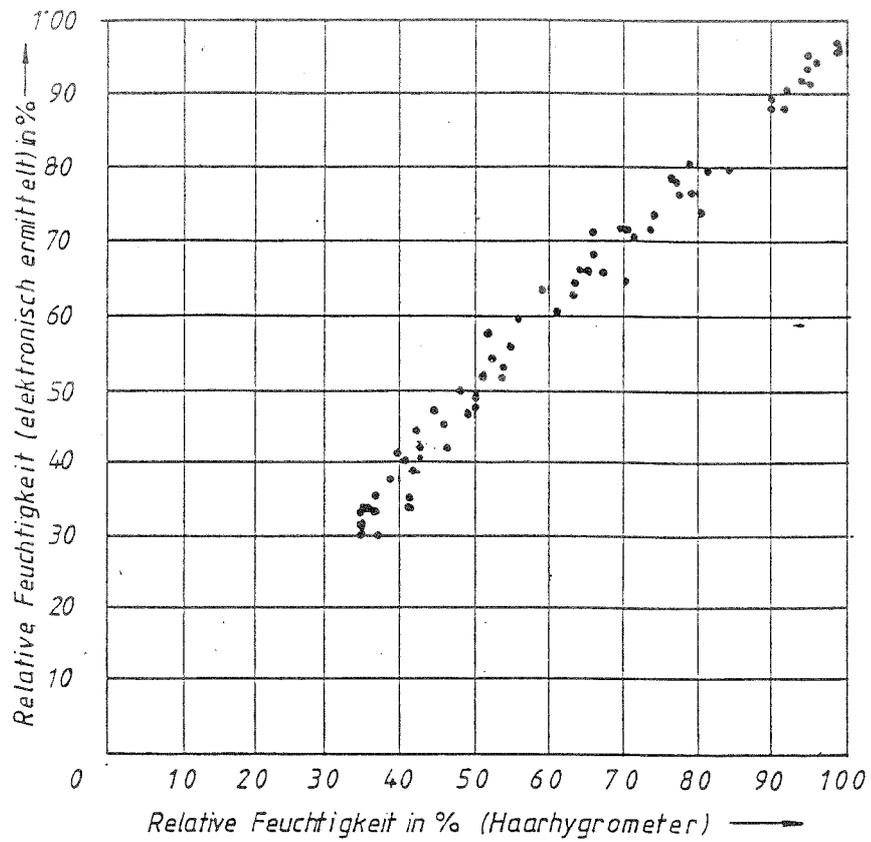
**Bild 7:** Kalibrierung des Temperaturfühlers



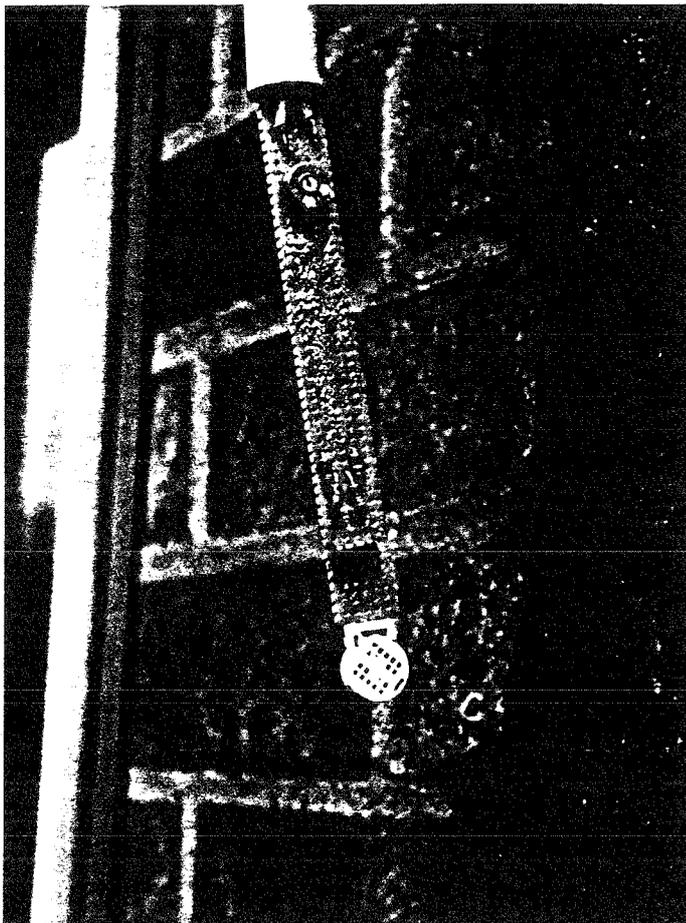
**Bild 8:** Schaltbild des Feuchtefühlers



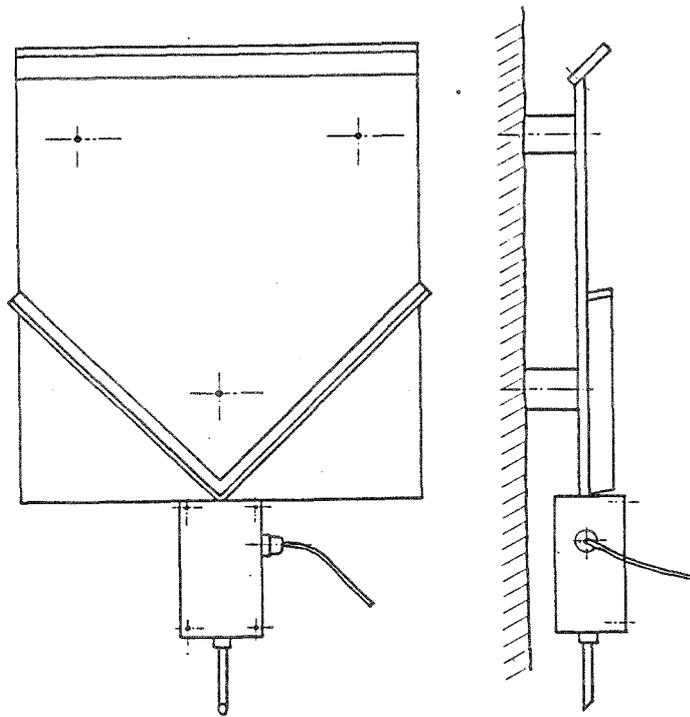
**Bild 9:** Kalibrierung des Feuchtemeßfühlers mit Hilfe eines Haarhygrometers



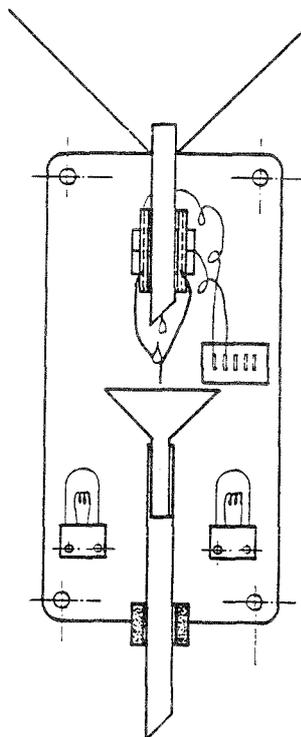
**Bild 10:** Kalibrierkurve des Feuchtemeßfühlers  
(Korrelation der Meßwerte von Haarhygrometer und elektronischer Feuchtemessung)



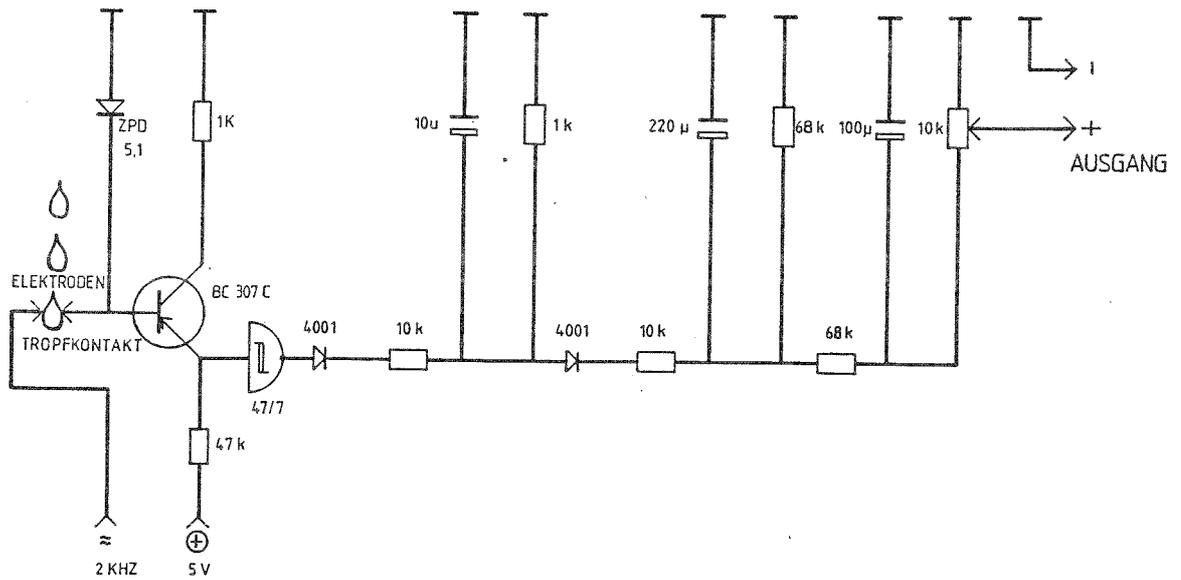
**Bild 11:** Temperatur-Feuchte-Fühler



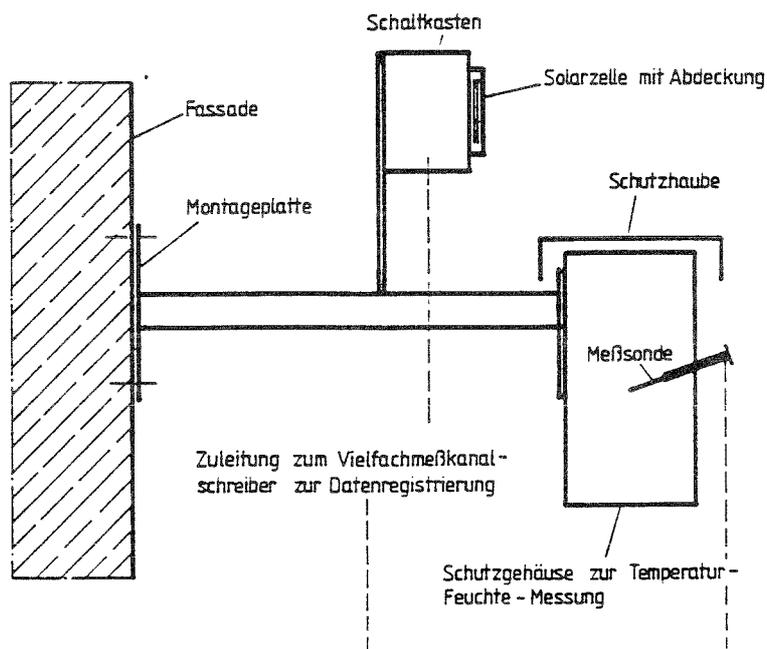
**Bild 12:** Skizze der Schlagregenmeßeinrichtung



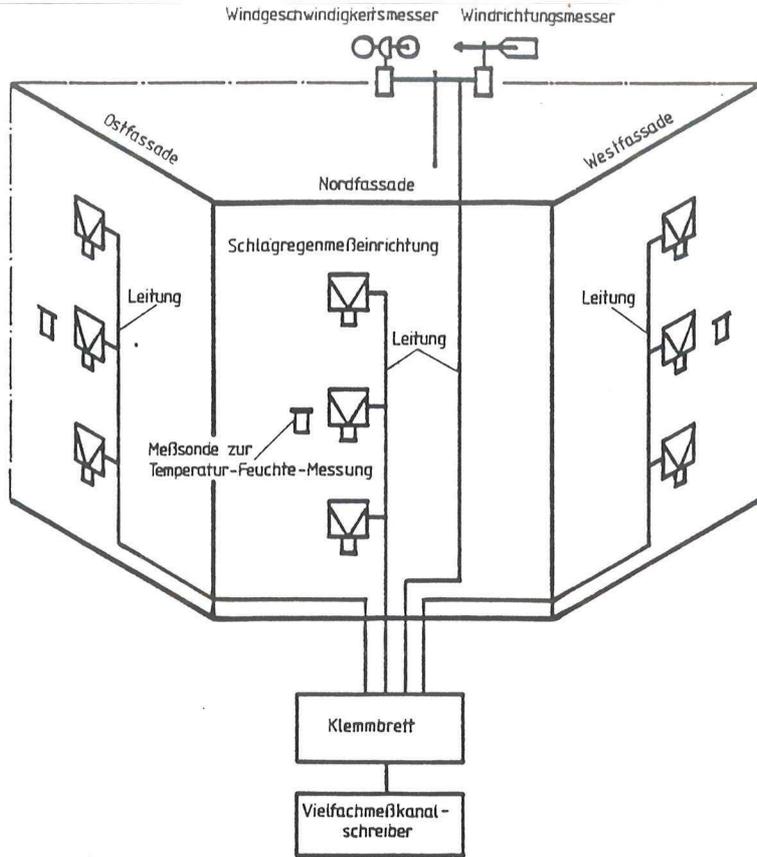
**Bild 13:** Schematische Darstellung der Tropfenzähleinrichtung



**Bild 14:** Schaltbild des Spannungswandlers der Schlagregenmeßeinrichtung



**Bild 15:** Schematische Darstellung der Meßeinrichtung des Außenklimas



**Bild 16:** Schematische Skizze der Meßwerterfassung



**Bild 17:** Anordnung der Meßeinrichtungen an der Fassade

T [°C]

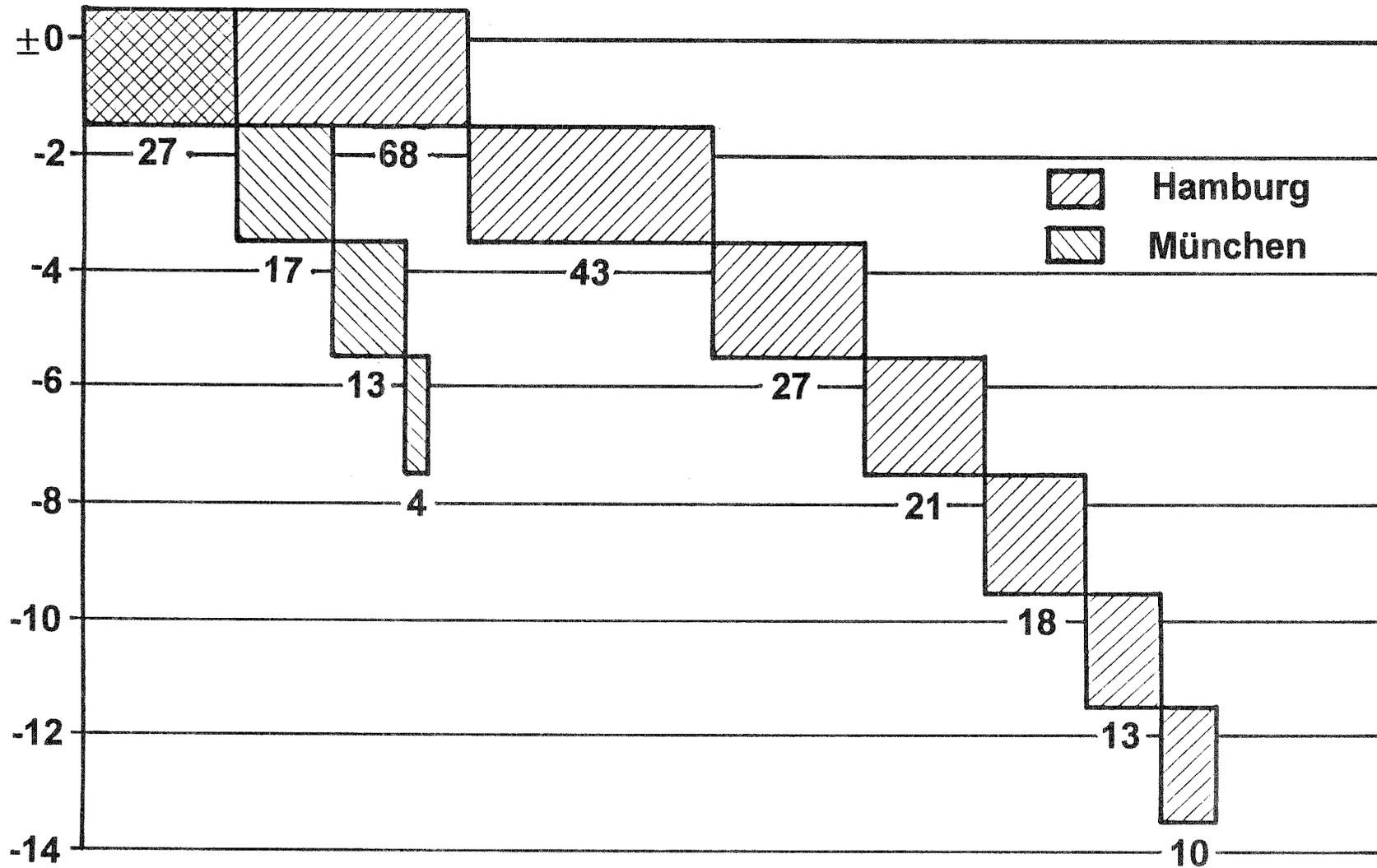


Bild 18: Summe der Temperaturwechsel bei und unterhalb 0°C in 2K-Schritten

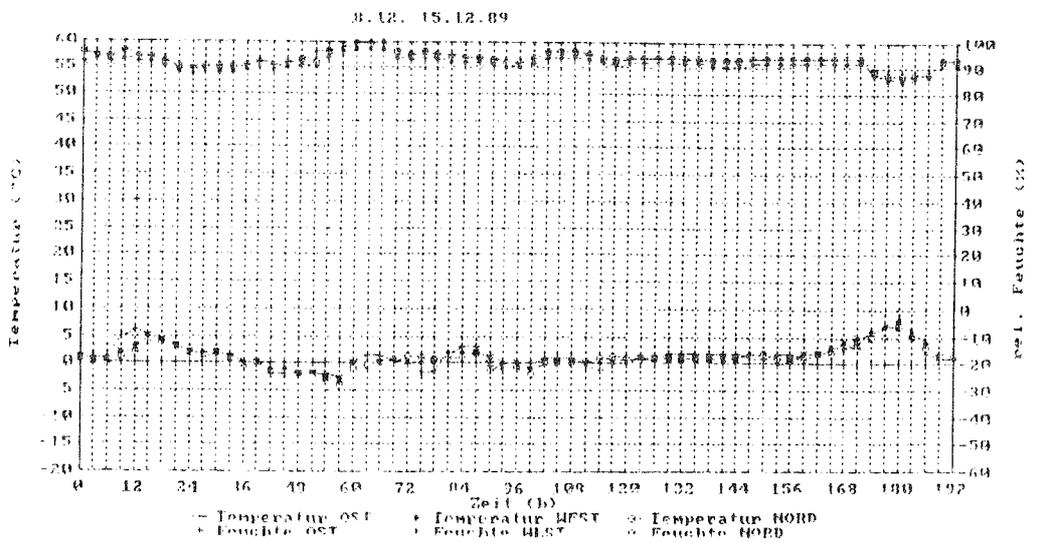
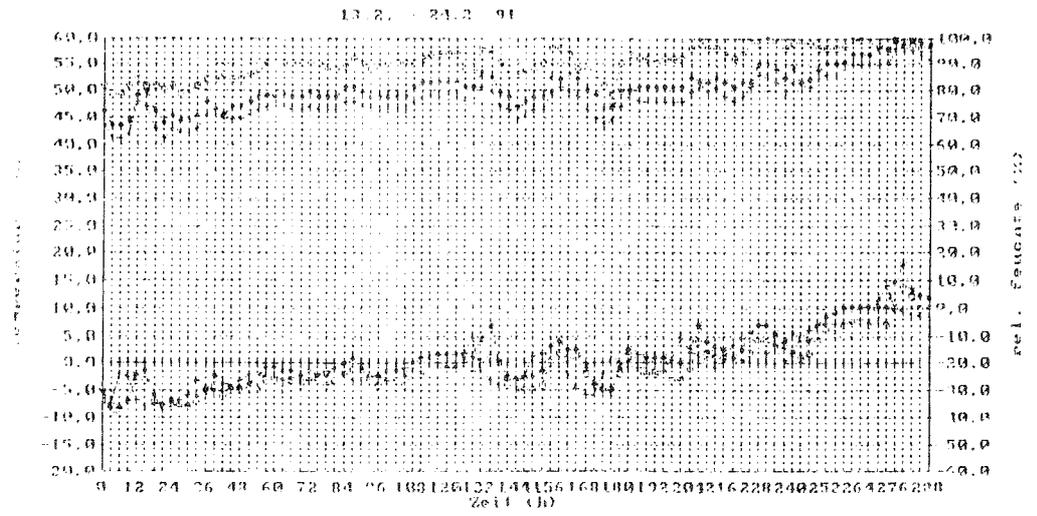
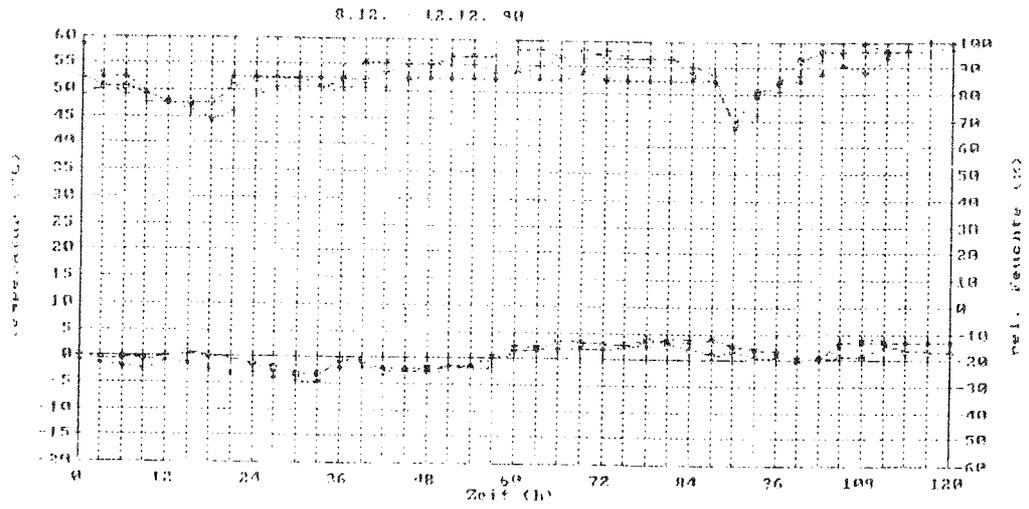
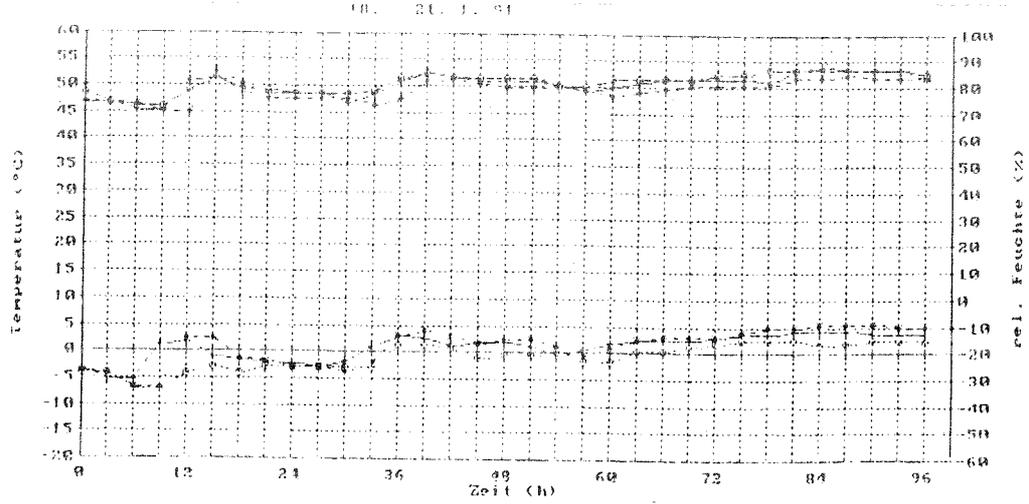


Bild 19: Temperatur- und Feuchteverläufe vor der Fassade (Außenklima) in Hamburg

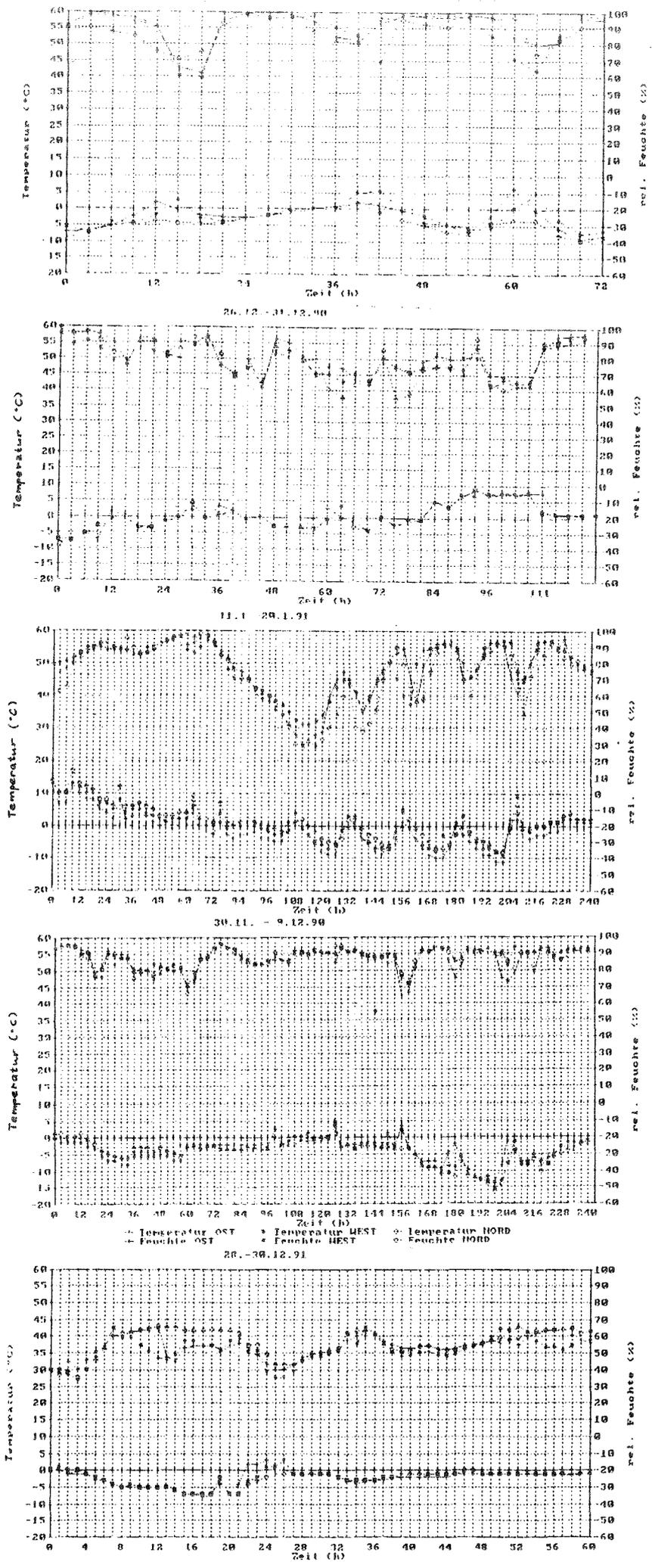
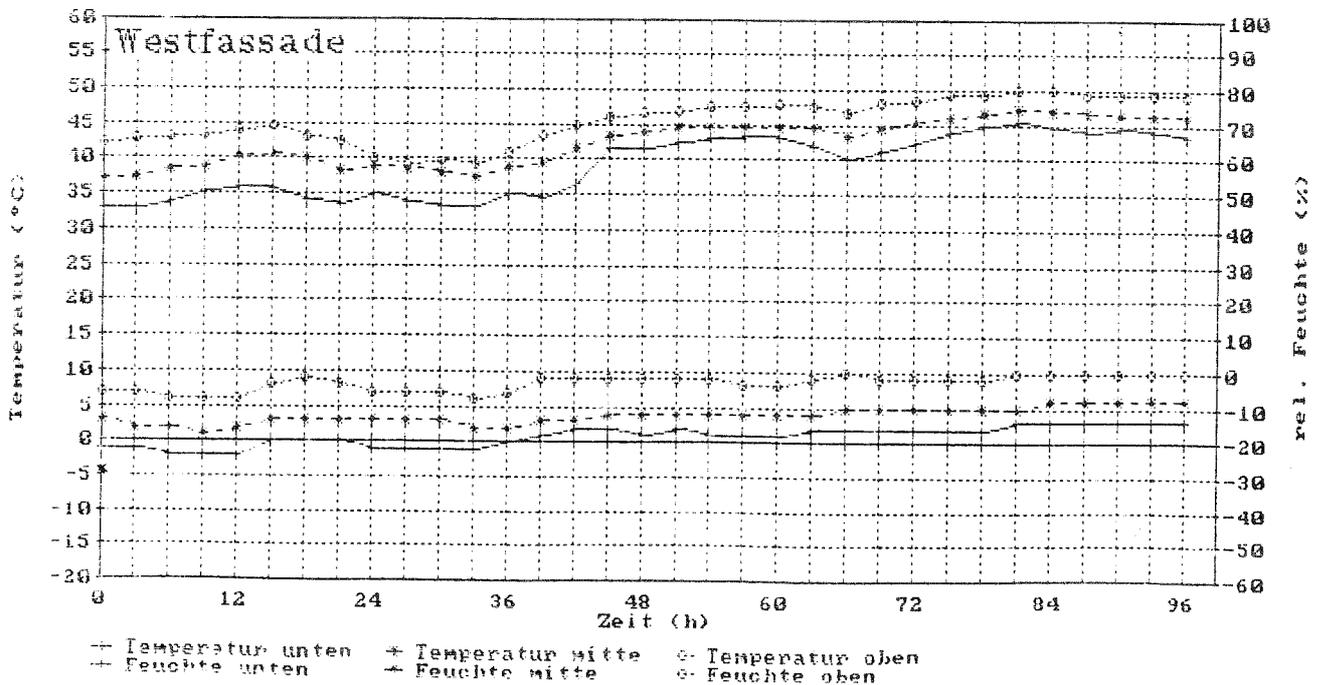
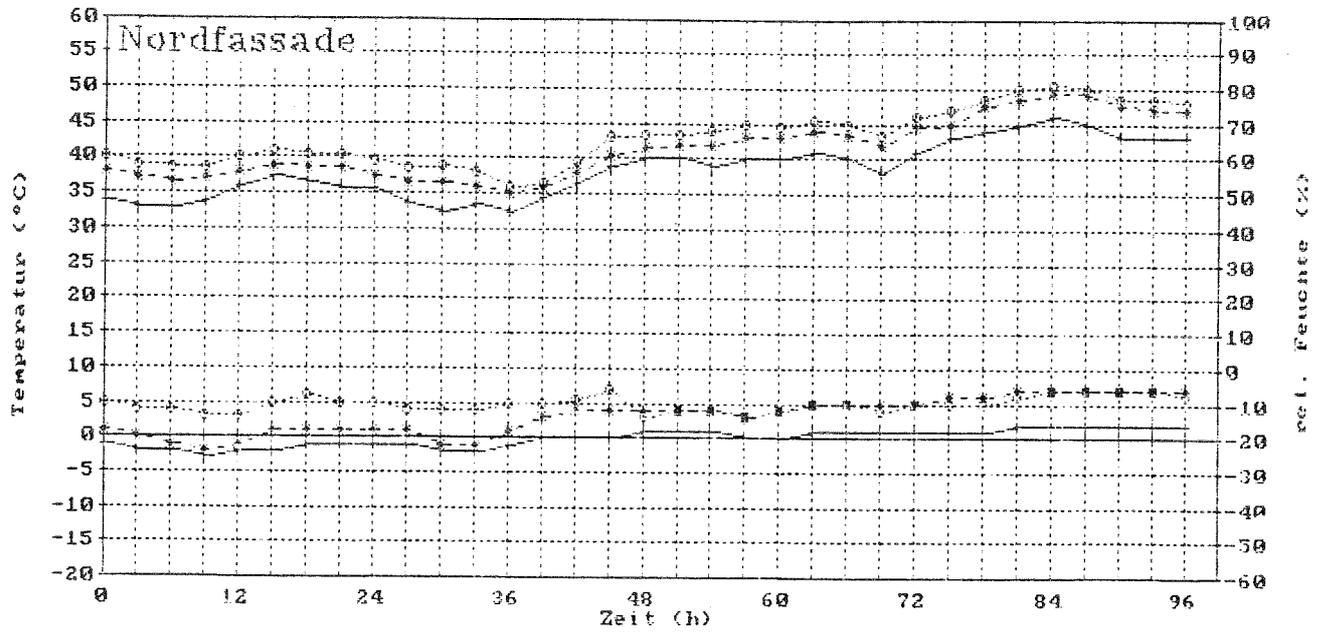
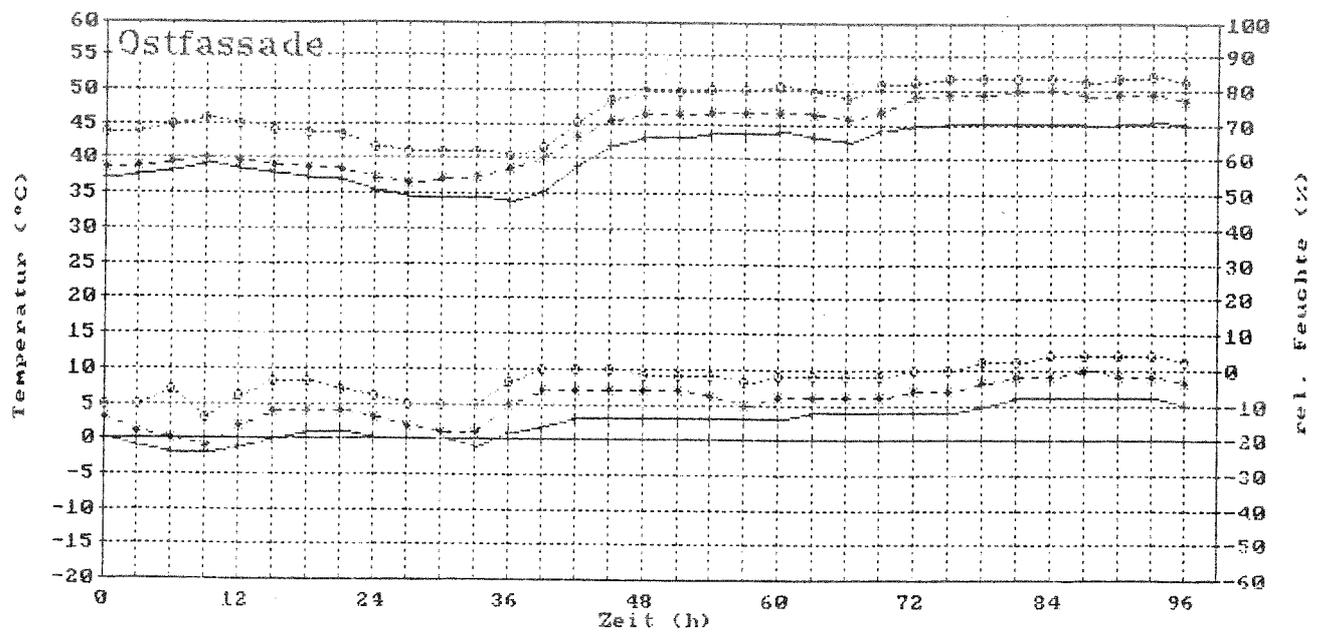
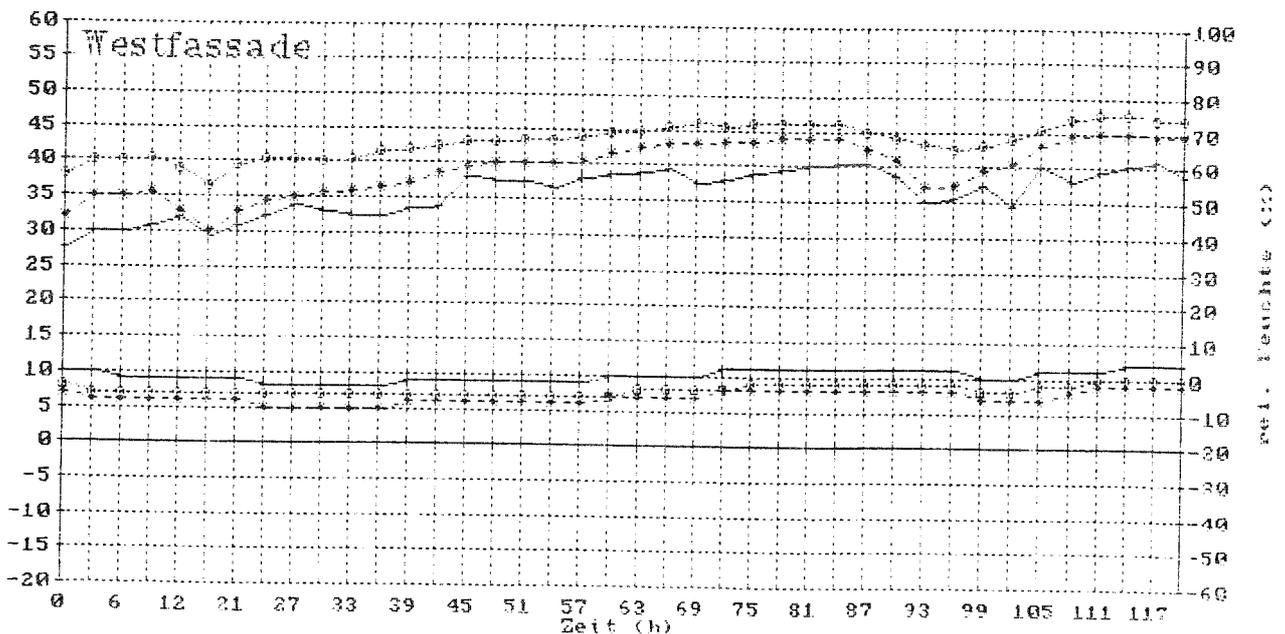
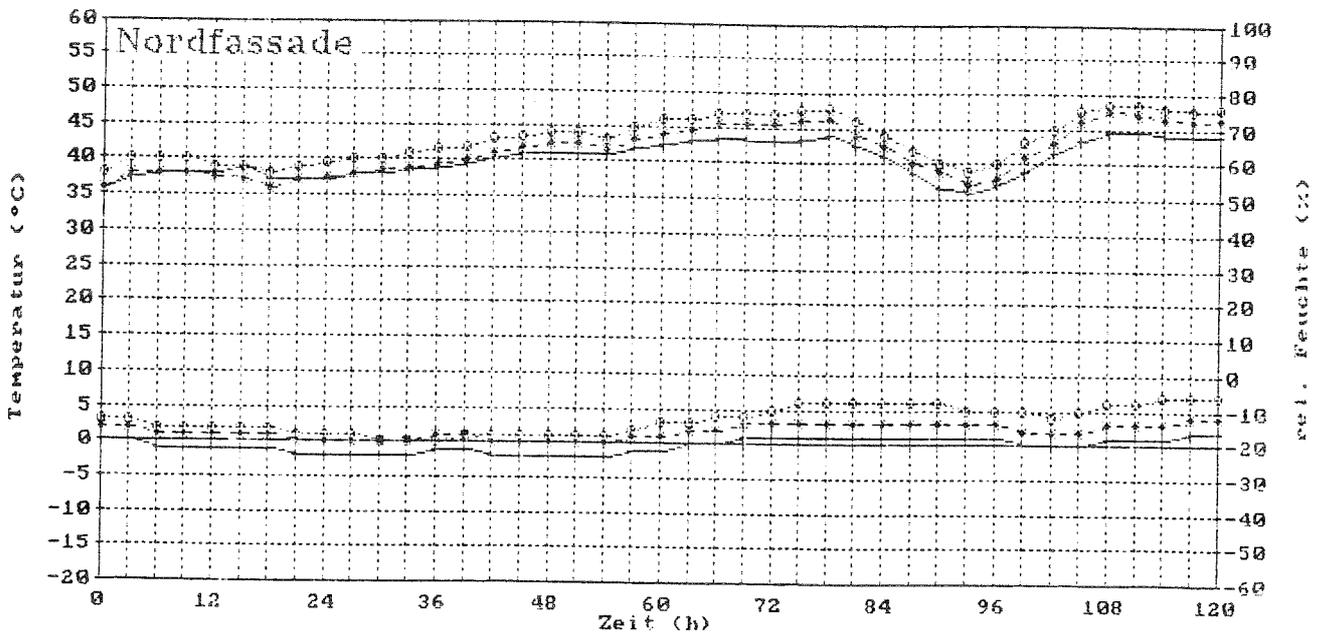
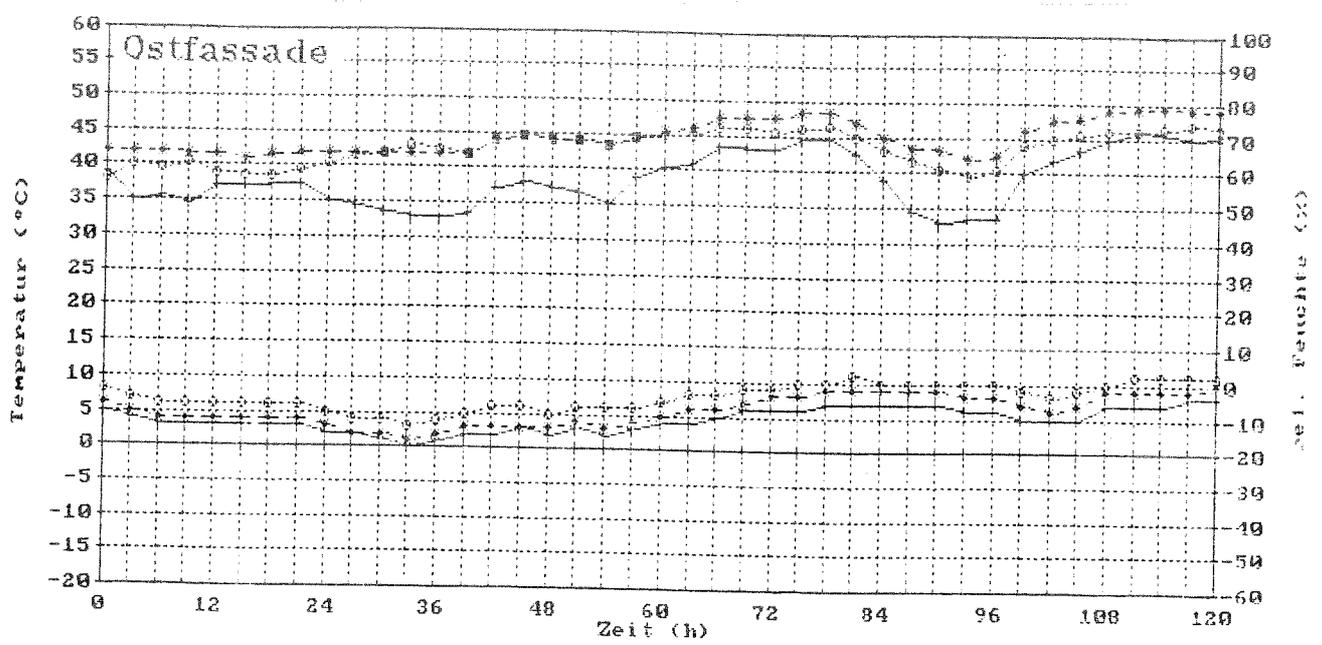


Bild 20: Temperatur- und Feuchteverläufe vor der Fassade (Außenklima) in München



**Bild 21: Temperatur- und Feuchteverläufe hinter der Fassade (Hamburg 1)**



+ Temperatur unten    \* Temperatur mitte    o Temperatur oben  
 - Feuchte unten      \* Feuchte mitte      o Feuchte oben

**Bild 22: Temperatur- und Feuchteverläufe hinter der Fassade (Hamburg 2)**

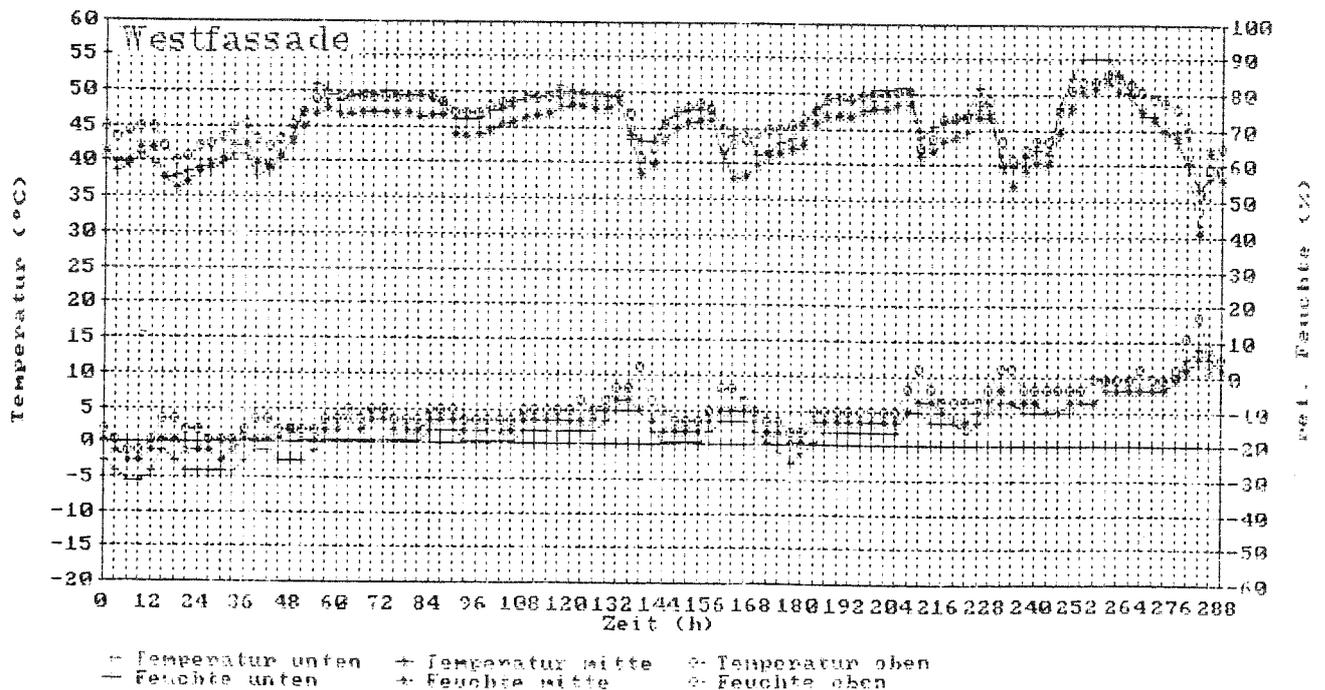
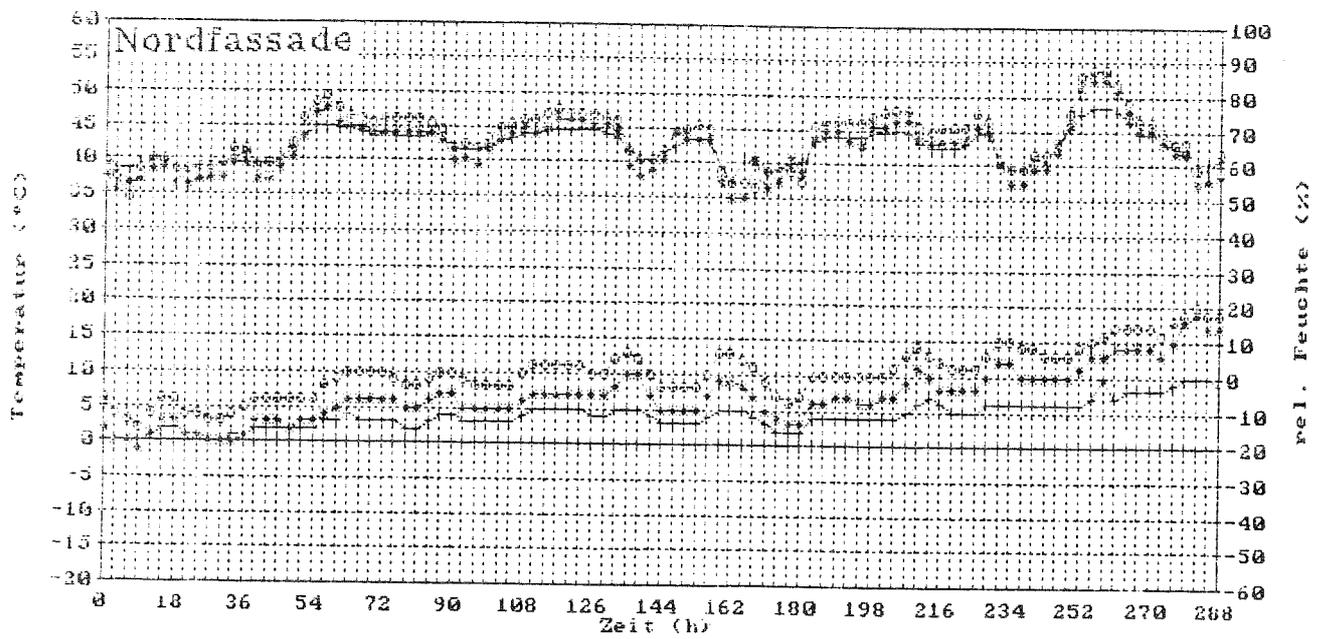
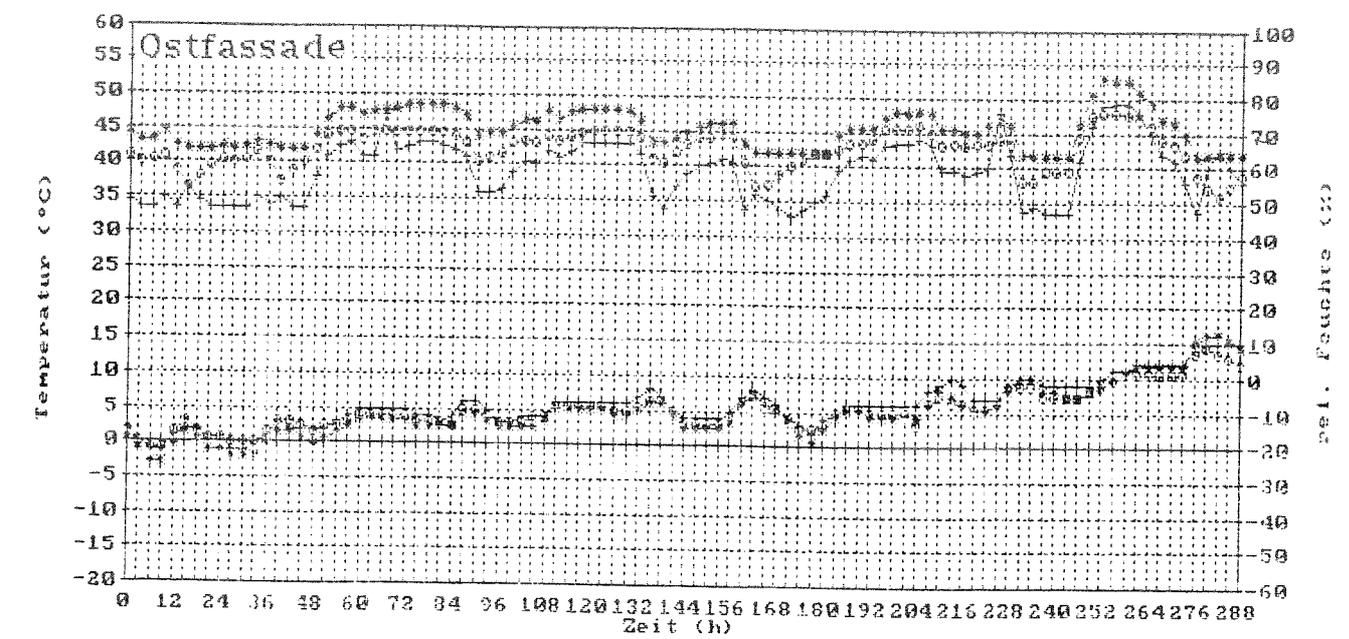
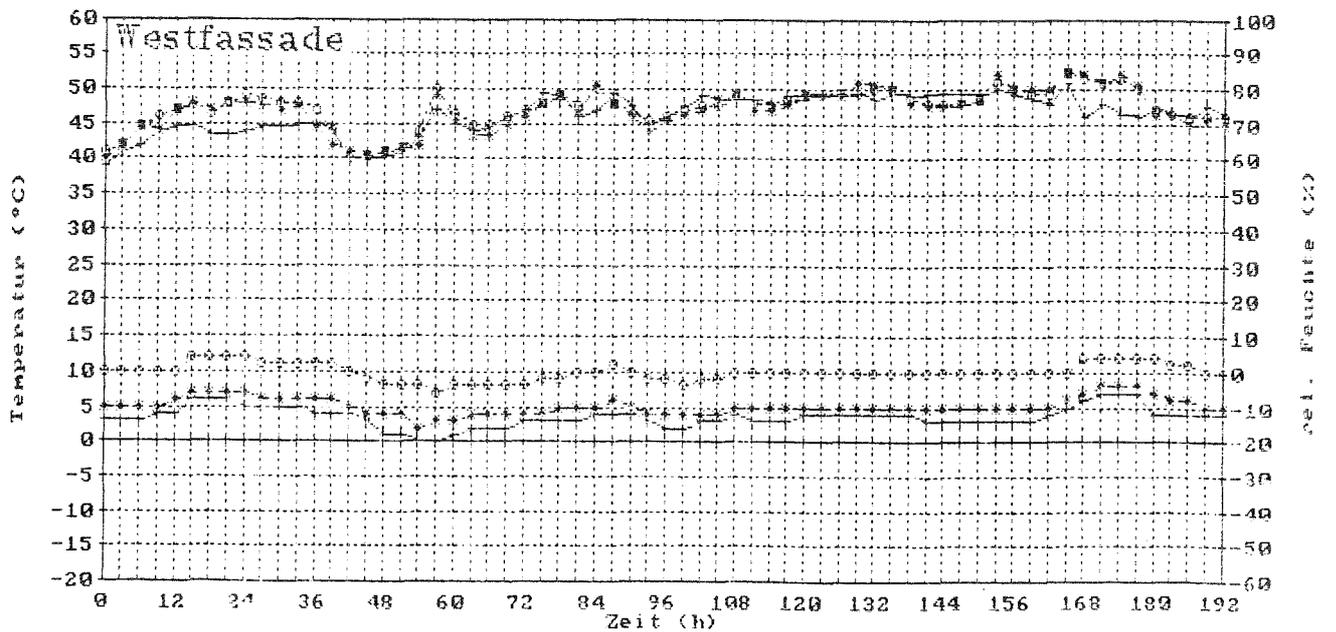
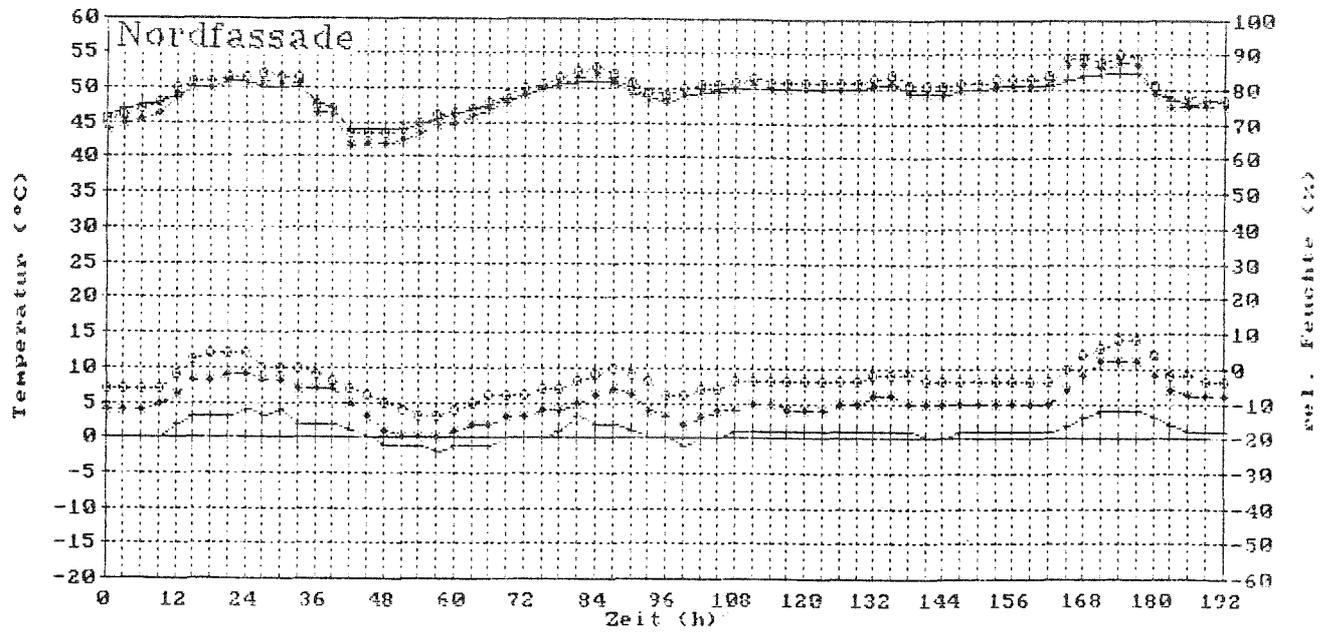
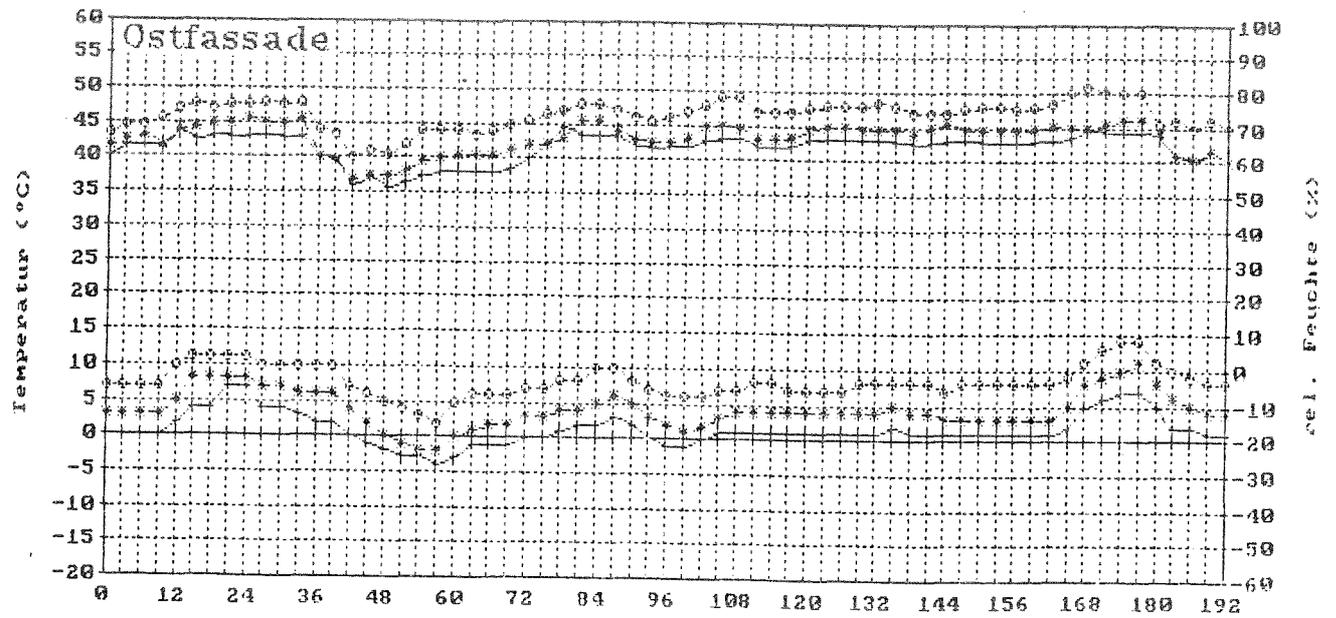
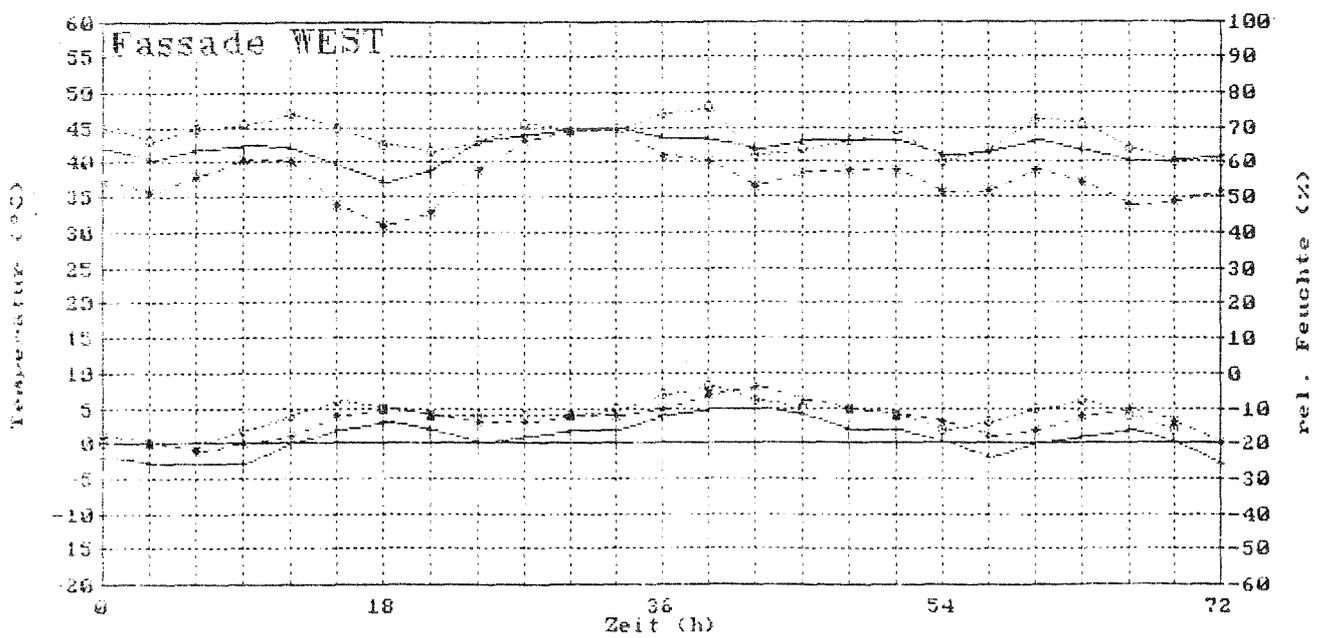
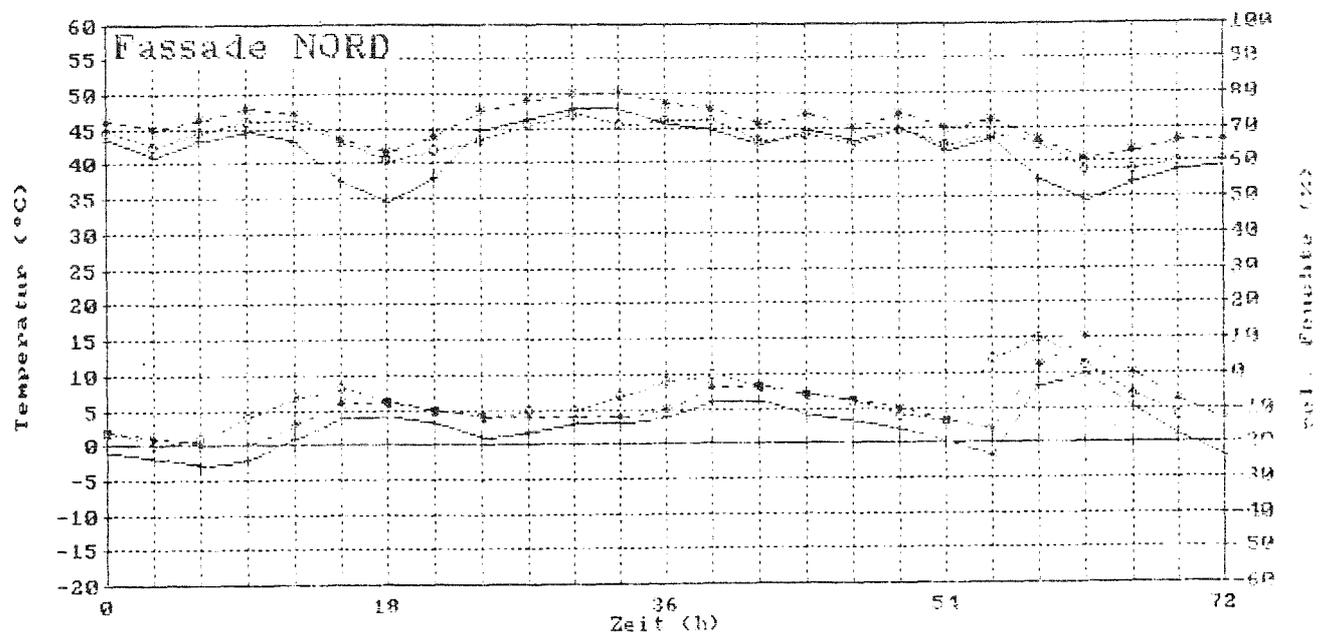
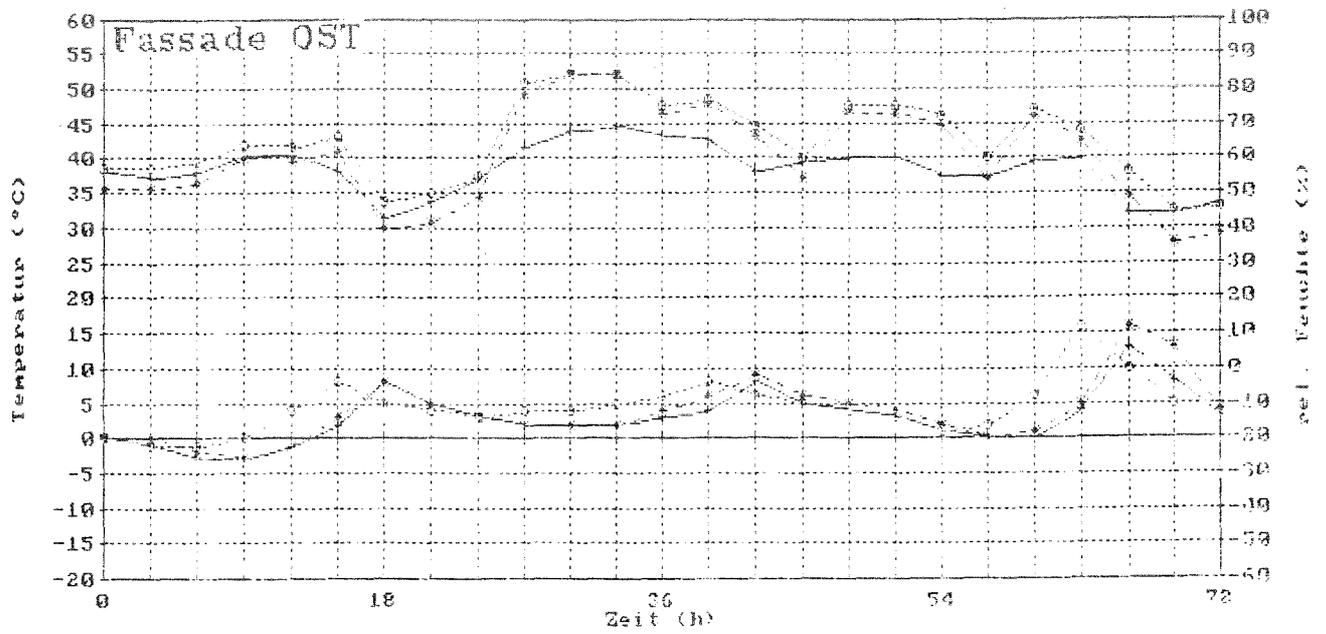


Bild 23: Temperatur- und Feuchteverläufe hinter der Fassade (Hamburg 3)



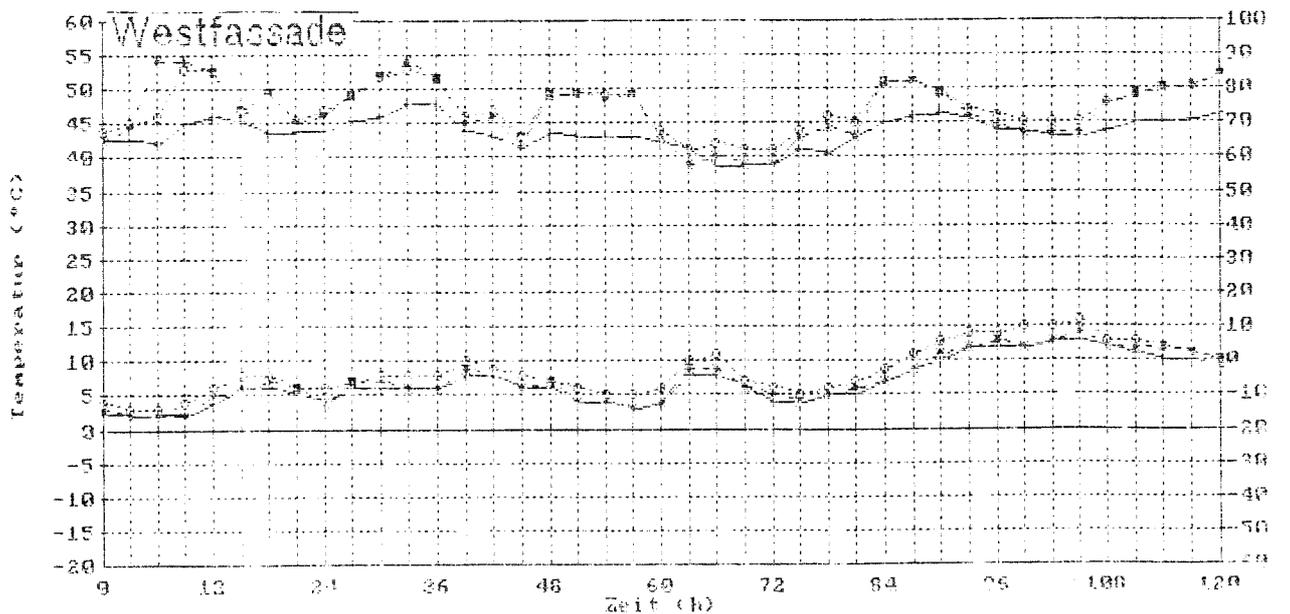
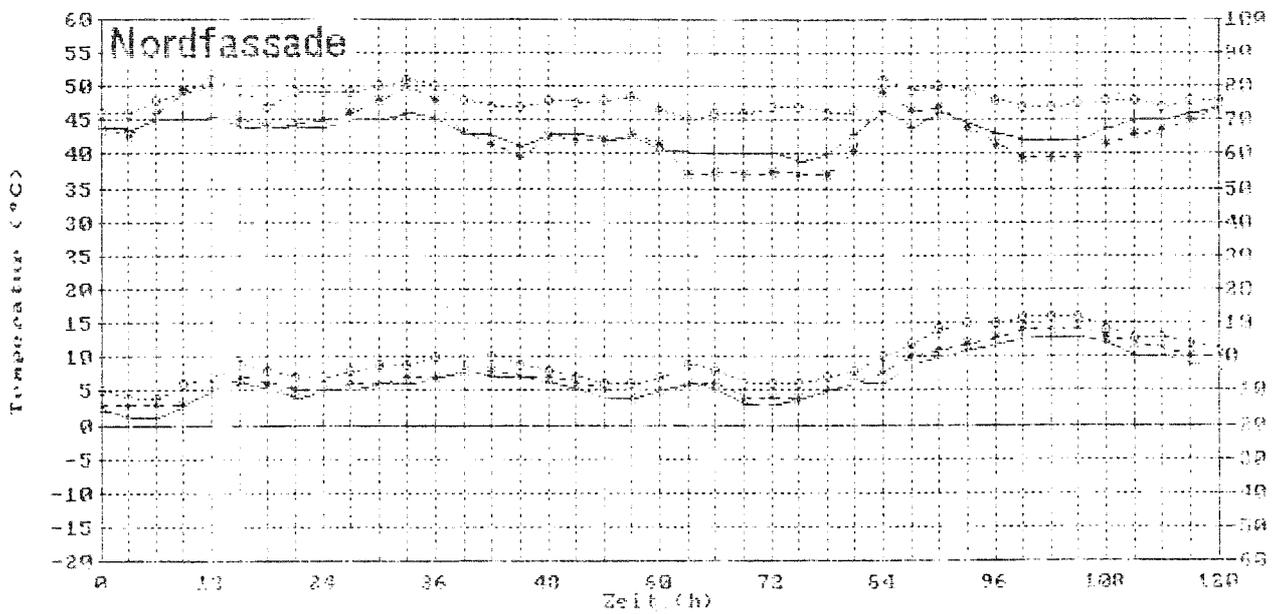
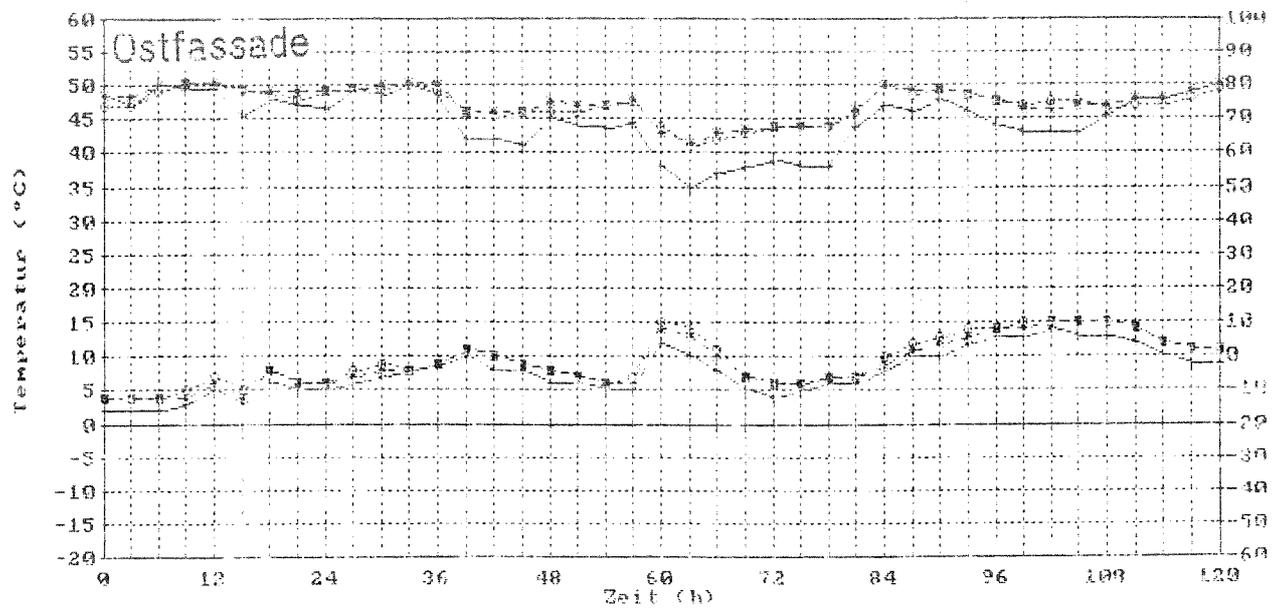
- Temperatur unten    + Temperatur mitte    ◊ Temperatur oben
- Feuchte unten      + Feuchte mitte       ◊ Feuchte oben

Bild 24: Temperatur- und Feuchteverläufe hinter der Fassade (Hamburg 4)



+ Temperatur unten    + Temperatur mitte    o Temperatur oben  
 - Feuchte unten      \* Feuchte mitte      o Feuchte oben

**Bild 25:** Temperatur- und Feuchteverläufe hinter der Fassade (München 1)



- - - Temperatur UNTEN      \* Temperatur MITTE      o Temperatur OBEN  
 + rel. Feuchte UNTEN      + rel. Feuchte MITTE      o rel. Feuchte OBEN

**Bild 26:** Temperatur- und Feuchteverläufe hinter der Fassade (München 2)

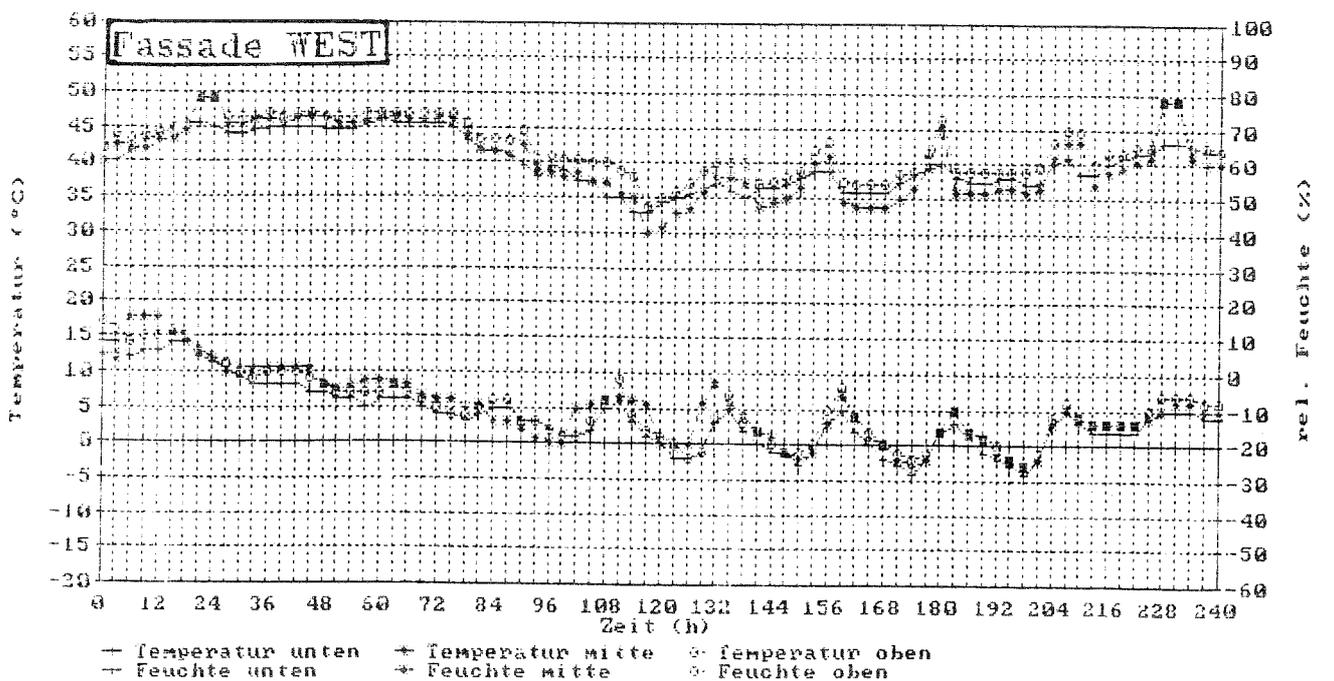
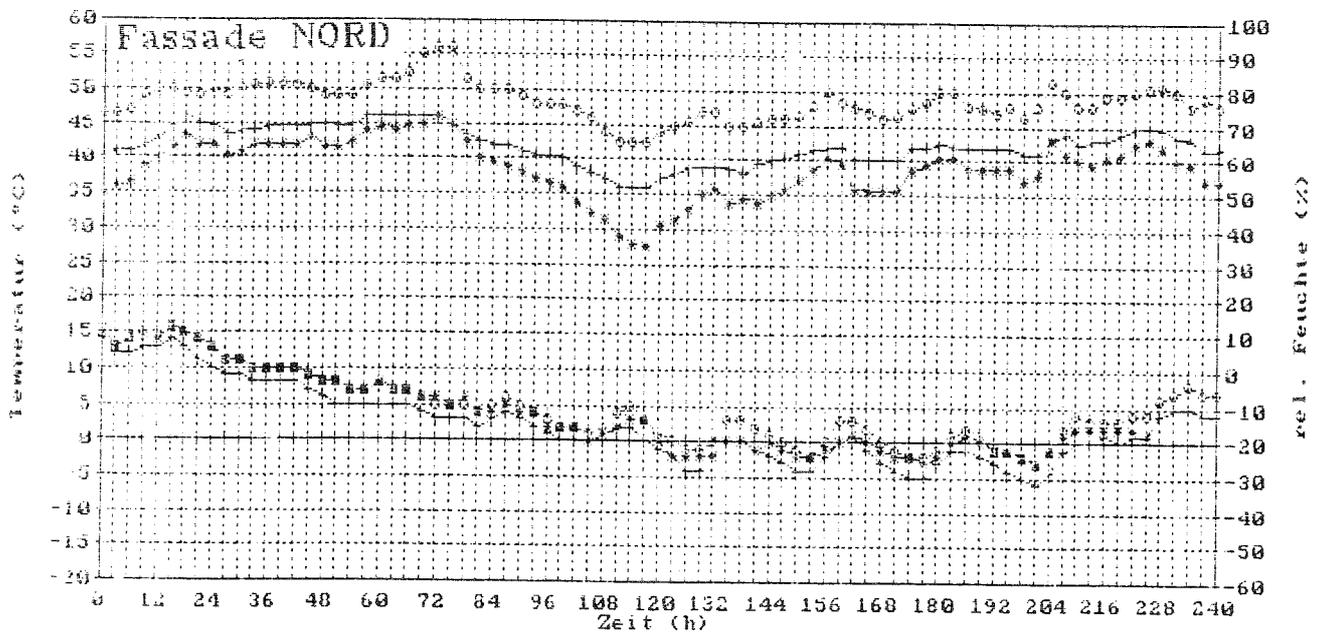
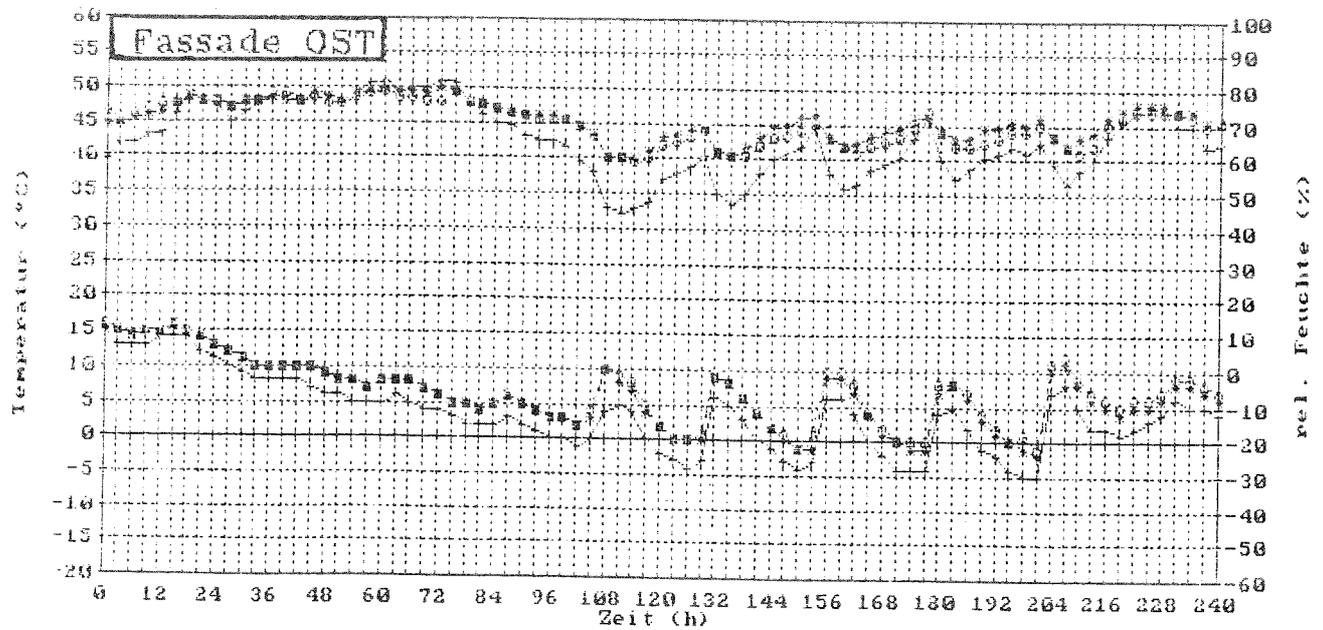
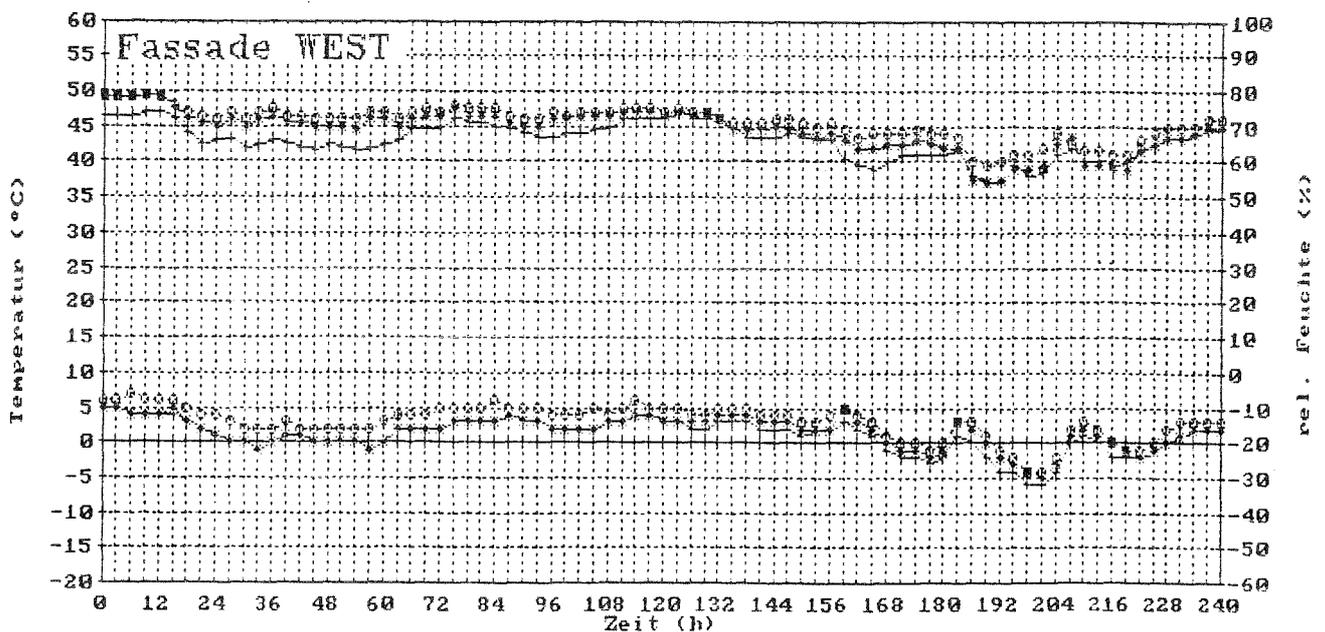
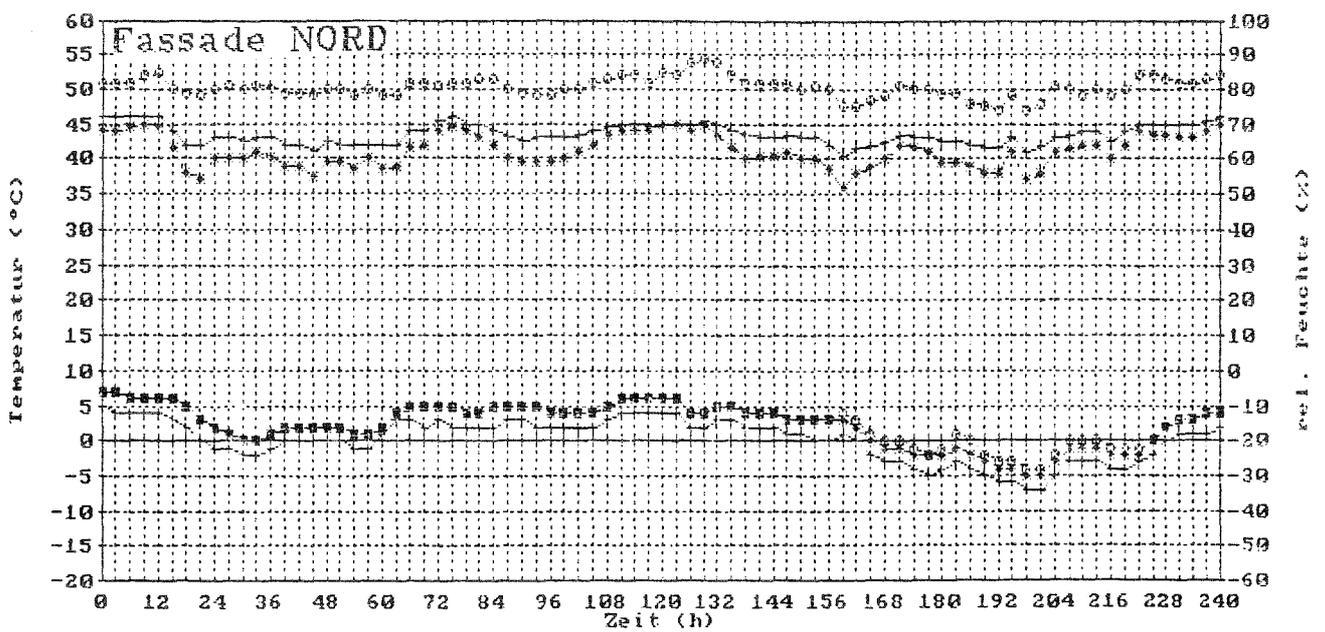
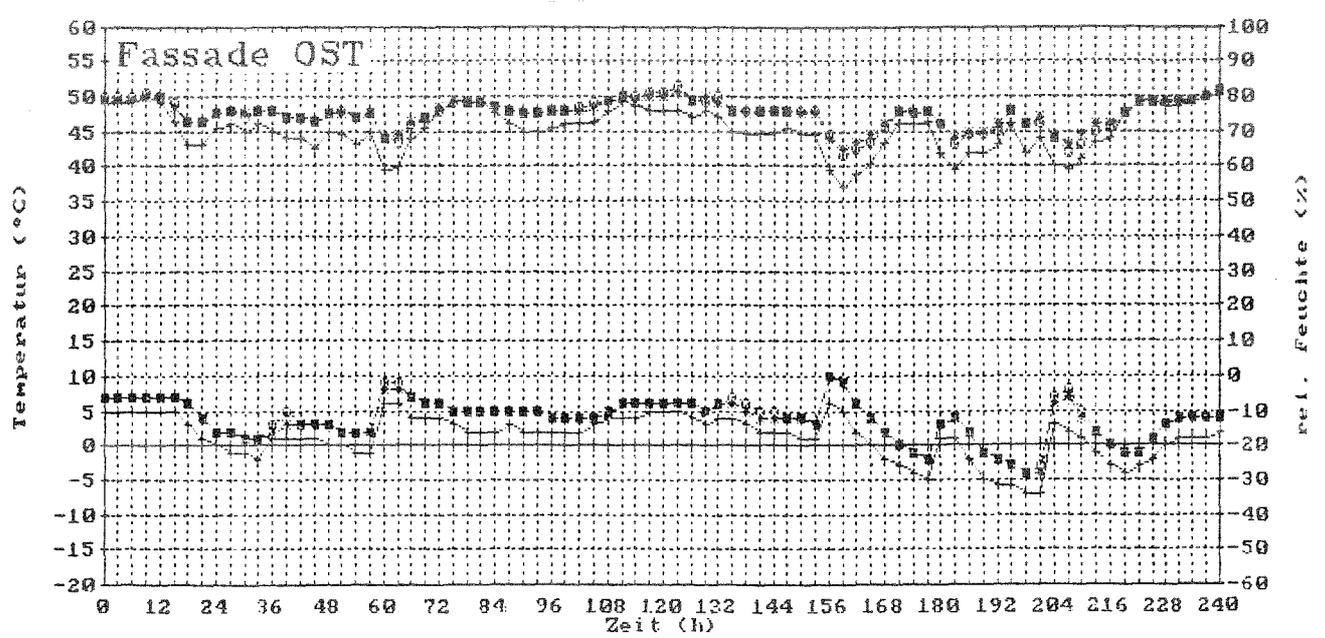
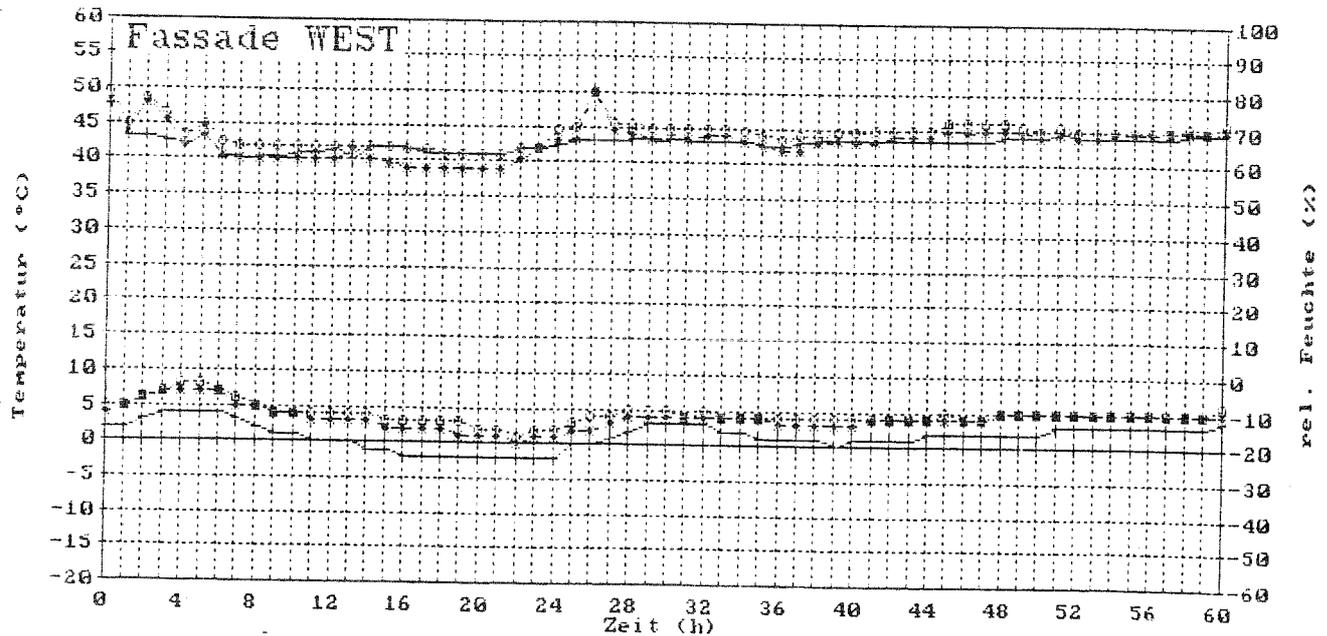
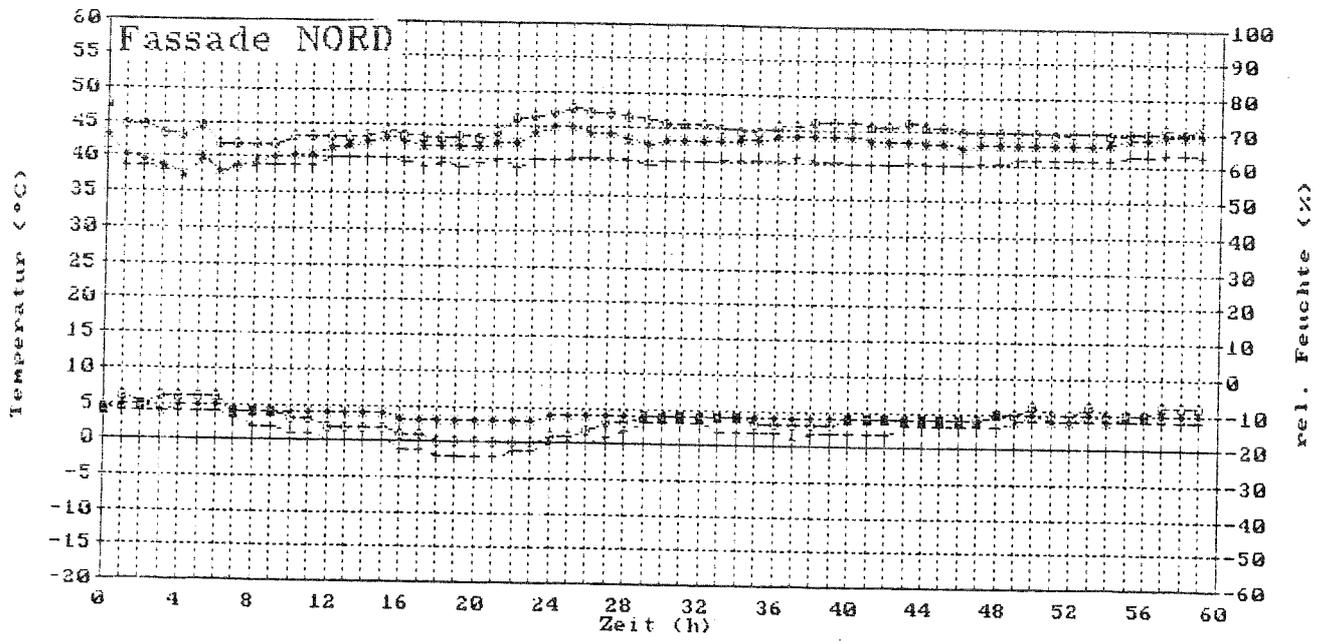
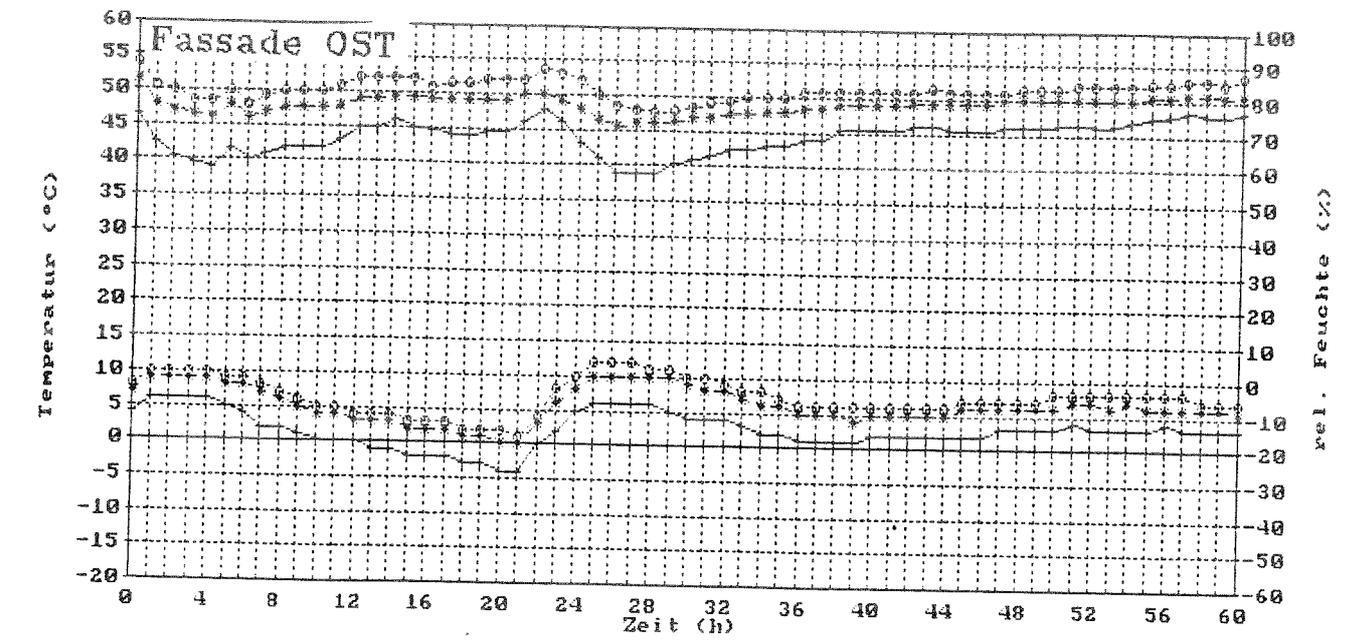


Bild 27: Temperatur- und Feuchteverläufe hinter der Fassade (München 3)



+ Temperatur INNEN      \* Temperatur MITTE      o Temperatur OBEN  
 — rel. Feuchte INNEN    + rel. Feuchte MITTE    o rel. Feuchte OBEN

Bild 28: Temperatur- und Feuchteverläufe hinter der Fassade (München 4)



+ Temperatur unten    \* Temperatur mitte    ◊ Temperatur oben  
 + Feuchte unten     \* Feuchte mitte     ◊ Feuchte oben

**Bild 29:** Temperatur- und Feuchteverläufe hinter der Fassade (München 5)

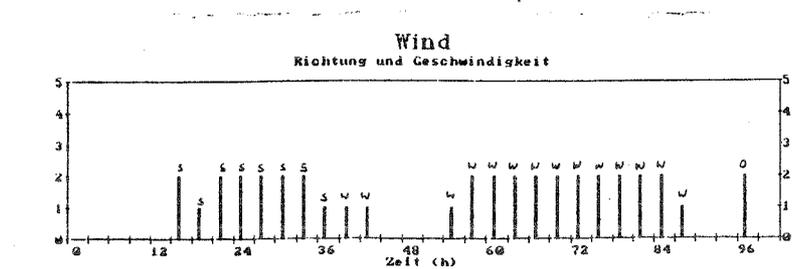
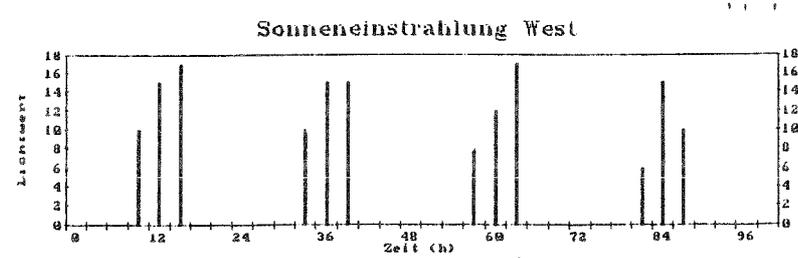
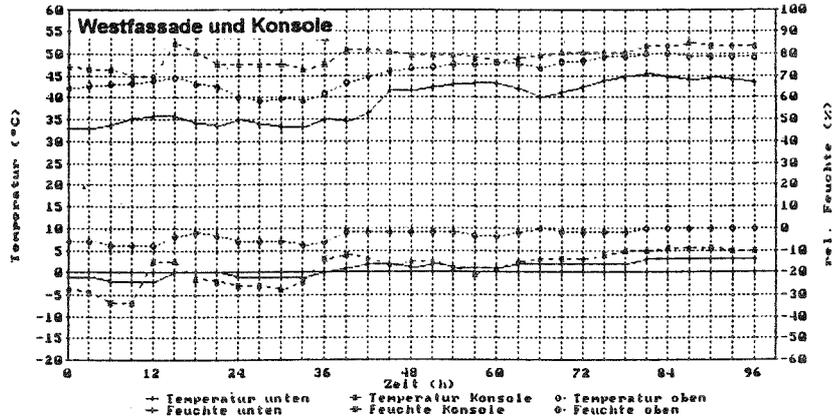
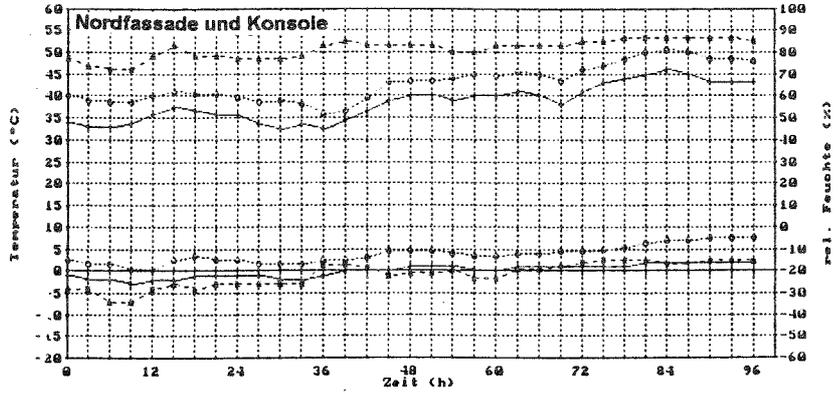
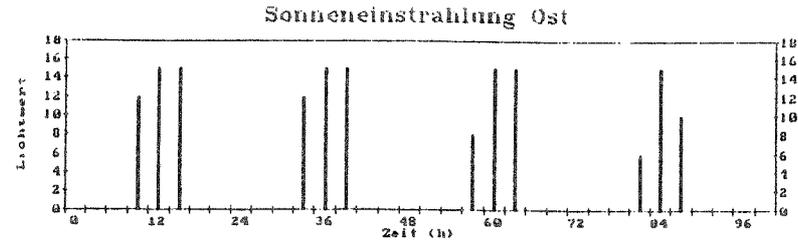
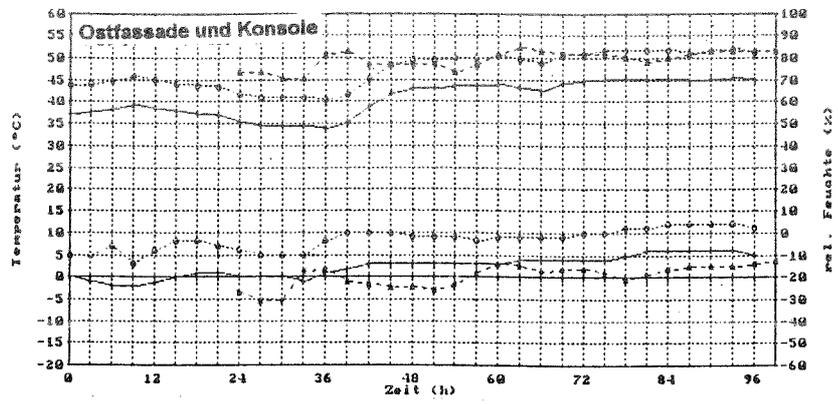
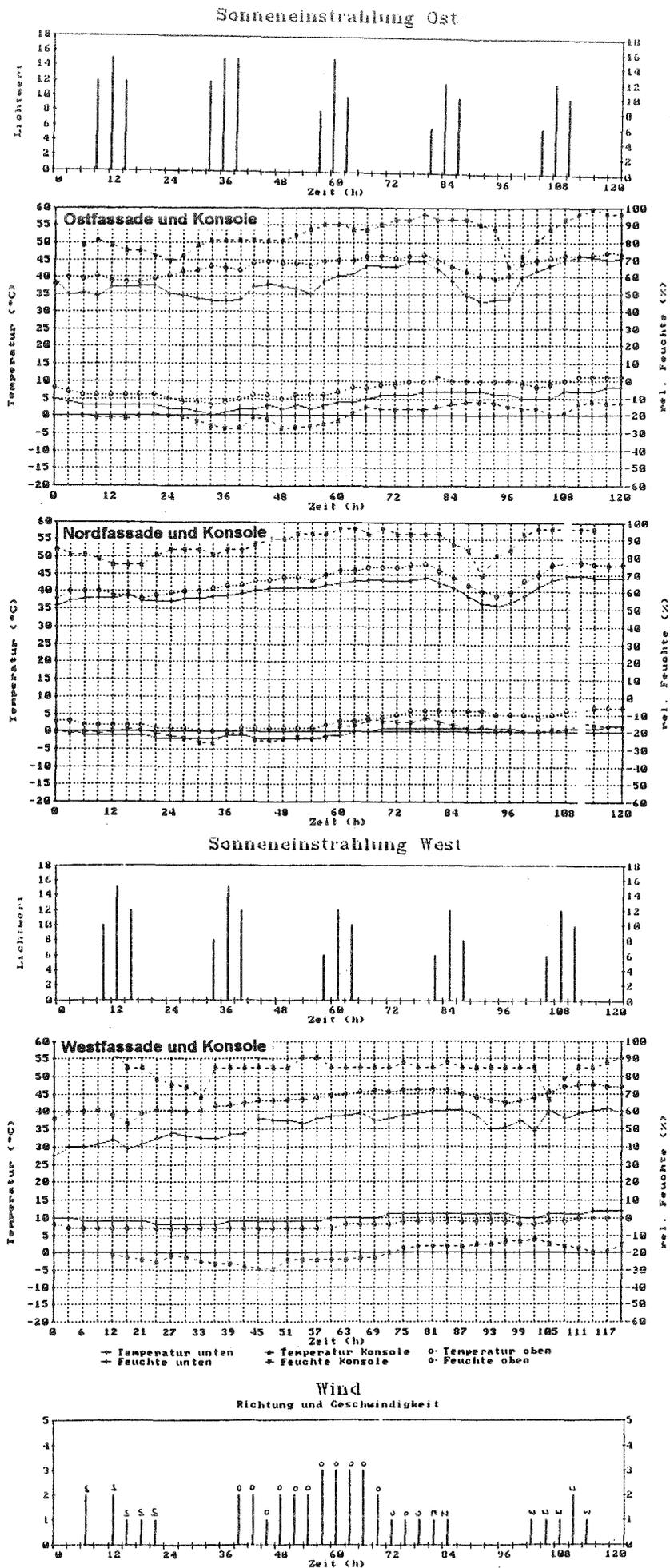
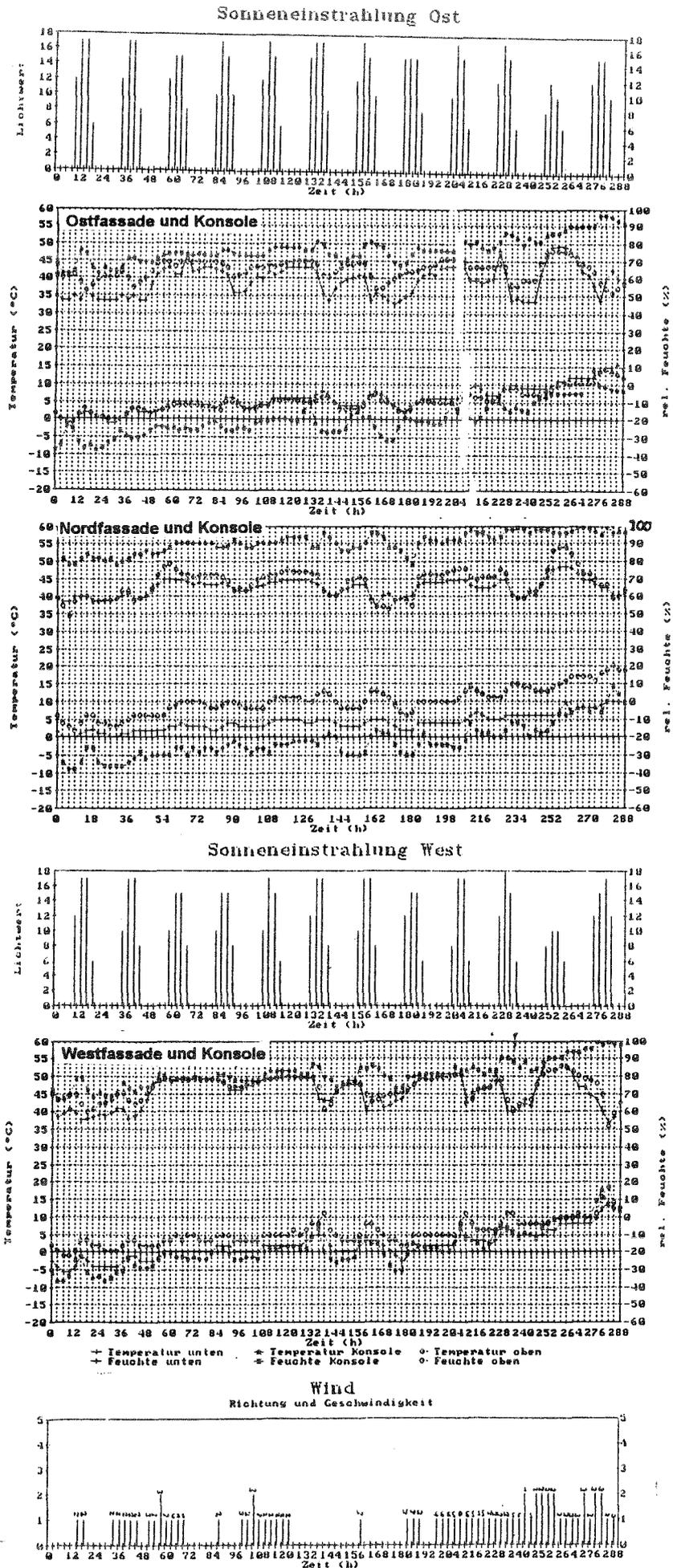


Bild 30: Einfluß von Sonneneinstrahlung und Wind auf das Innen- und Außenklima der Fassade (Hamburg 1)



**Bild 31:** Einfluß von Sonneneinstrahlung und Wind auf das Innen- und Außenklima der Fassade (Hamburg 2)



**Bild 32:** Einfluß von Sonneneinstrahlung und Wind auf das Innen- und Außenklima der Fassade (Hamburg 3)

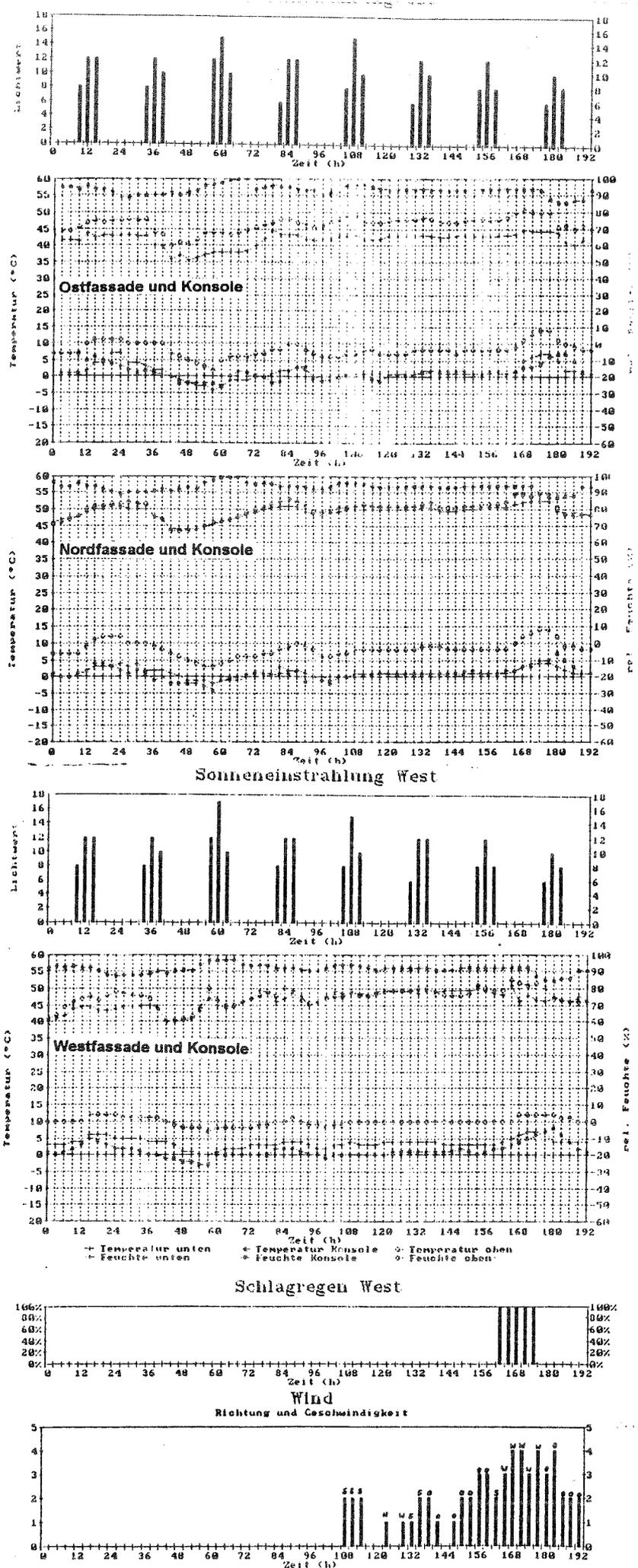
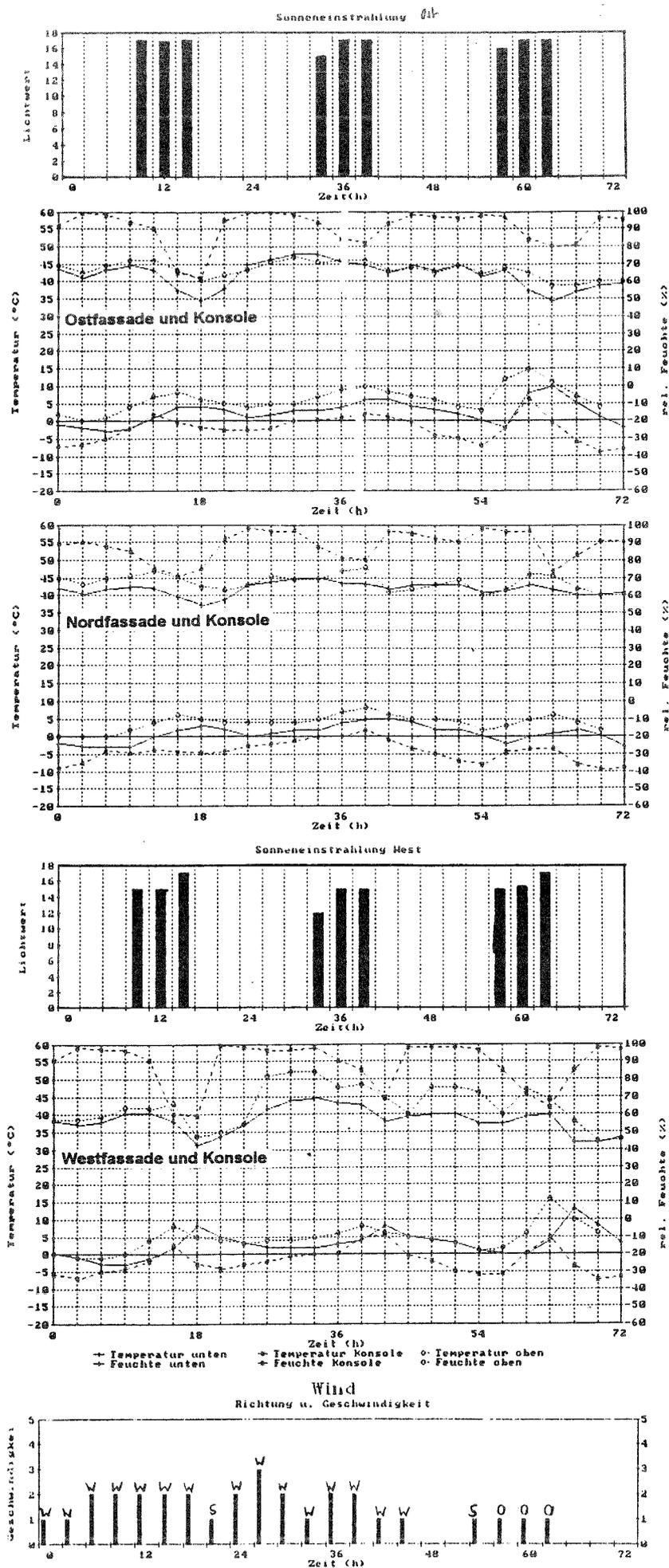
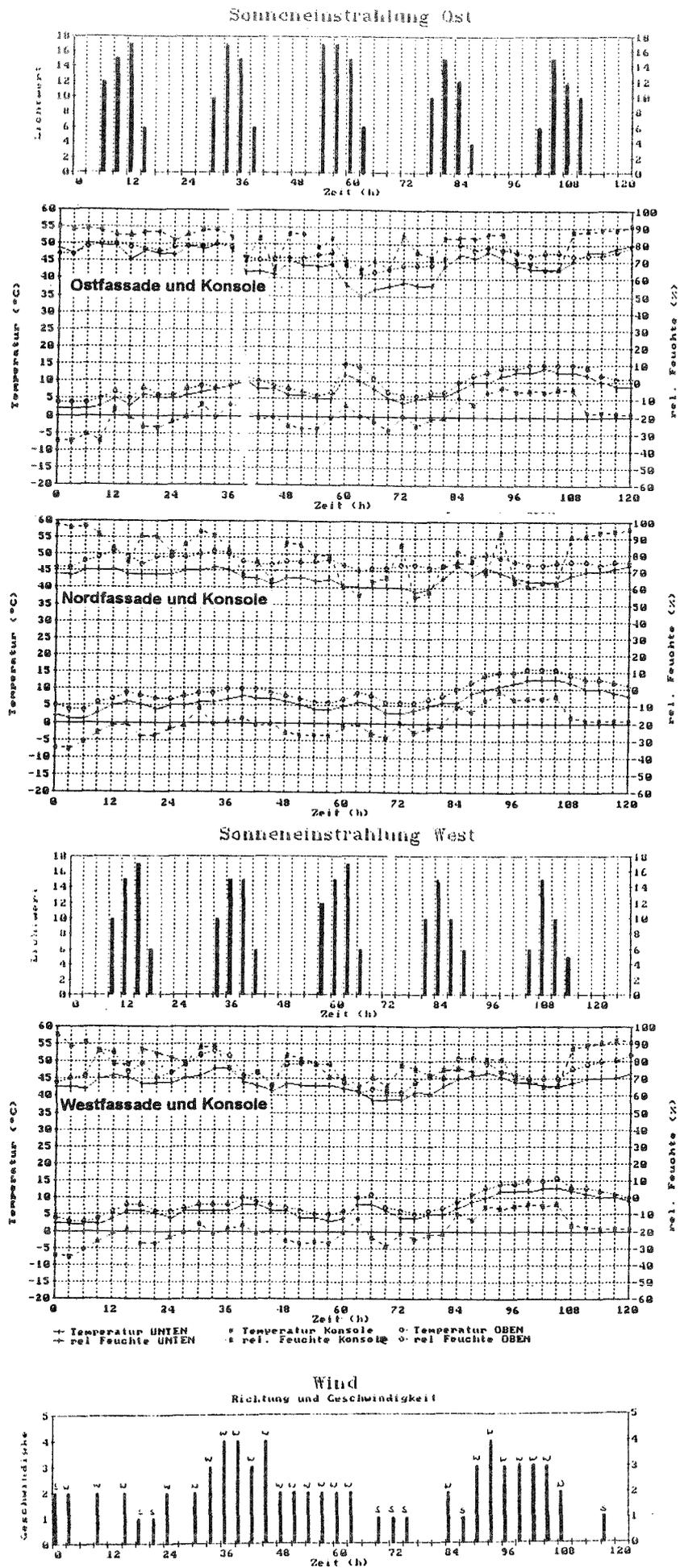


Bild 33: Einfluß von Sonneneinstrahlung, Wind und Schlagregen auf das Innen- und Außenklima der Fassade (Hamburg 4)

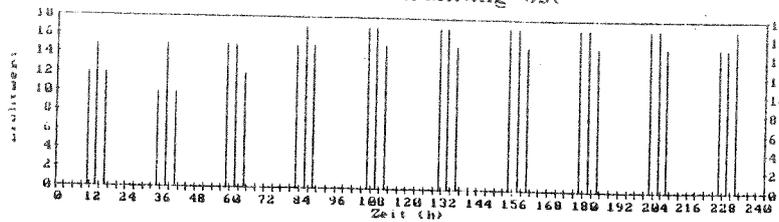


**Bild 34:** Einfluß von Sonneneinstrahlung und Wind auf das Innen- und Außenklima der Fassade (München 1)

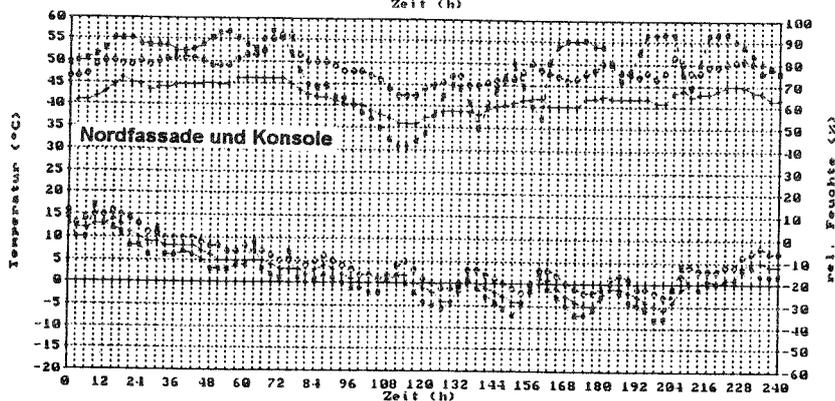
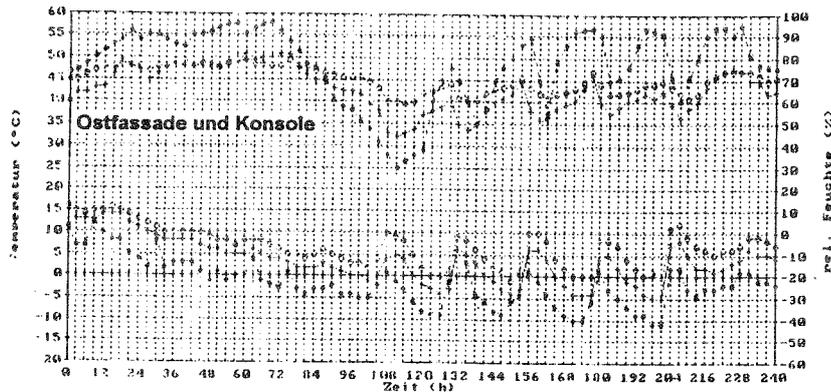
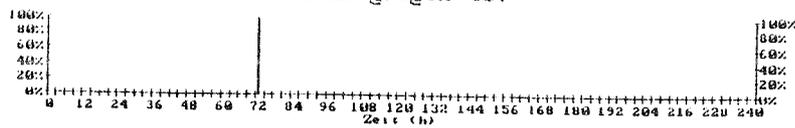


**Bild 35:** Einfluß von Sonneneinstrahlung und Wind auf das Innen- und Außenklima der Fassade (München 2)

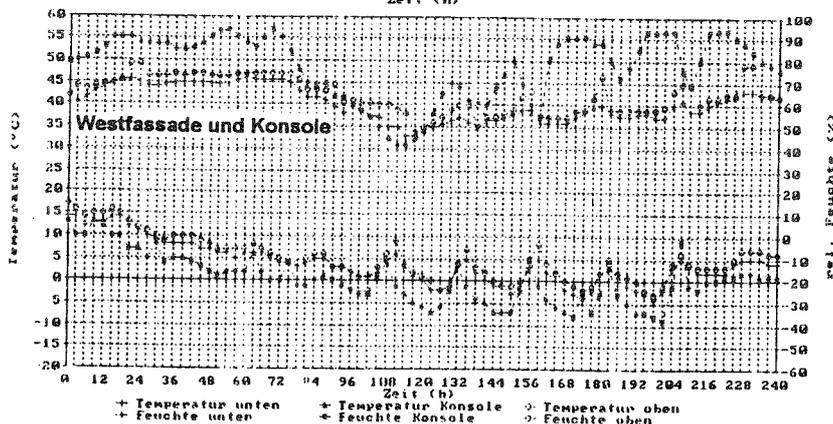
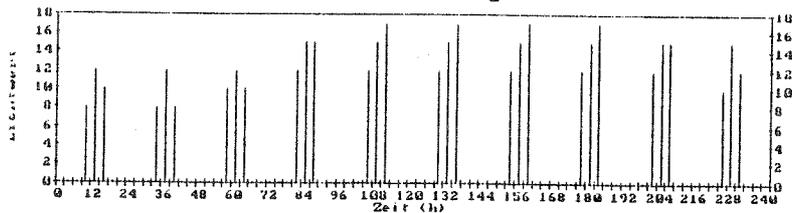
### Sonneneinstrahlung Ost



### Schlagregen Ost

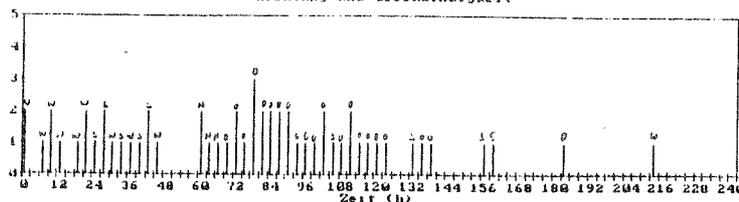


### Sonneneinstrahlung West

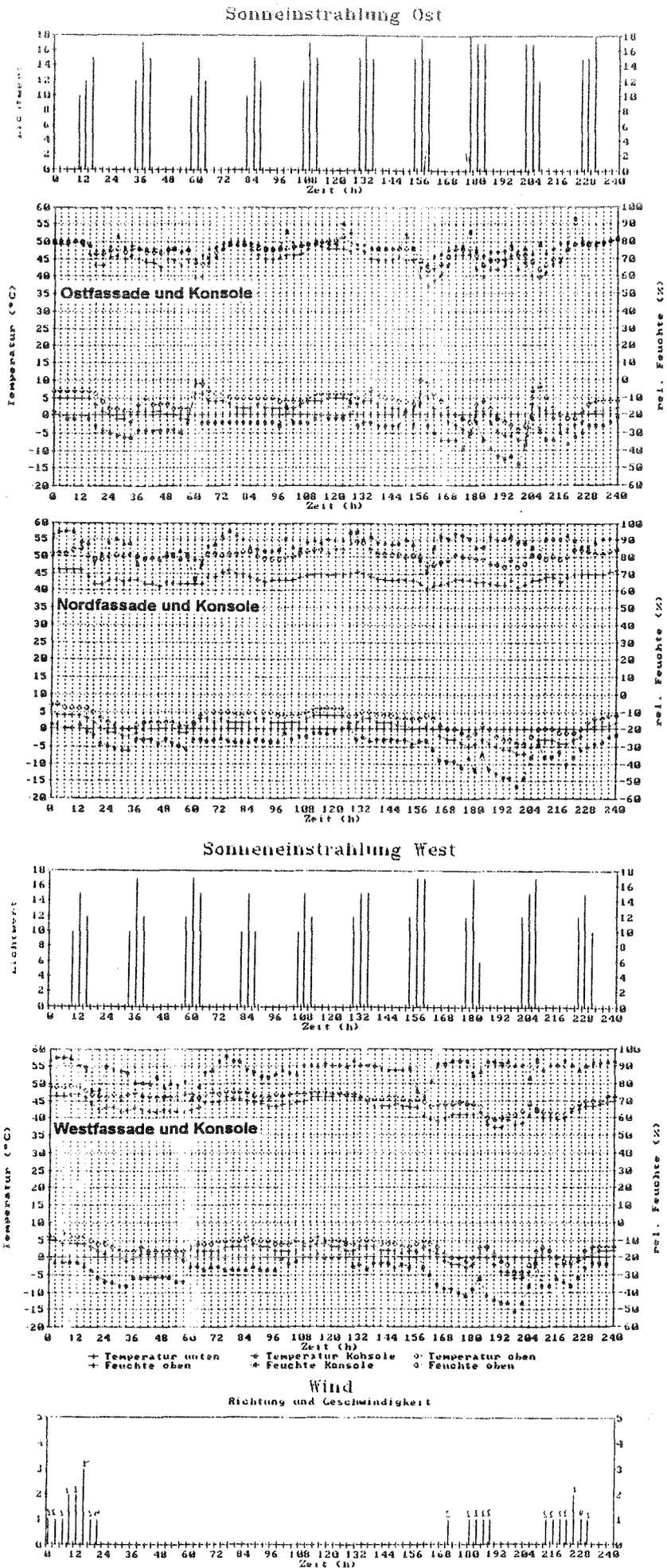


+ Temperatur unten    + Temperatur Konsole    ◊ Temperatur oben  
 + Feuchte unten       + Feuchte Konsole       ◊ Feuchte oben

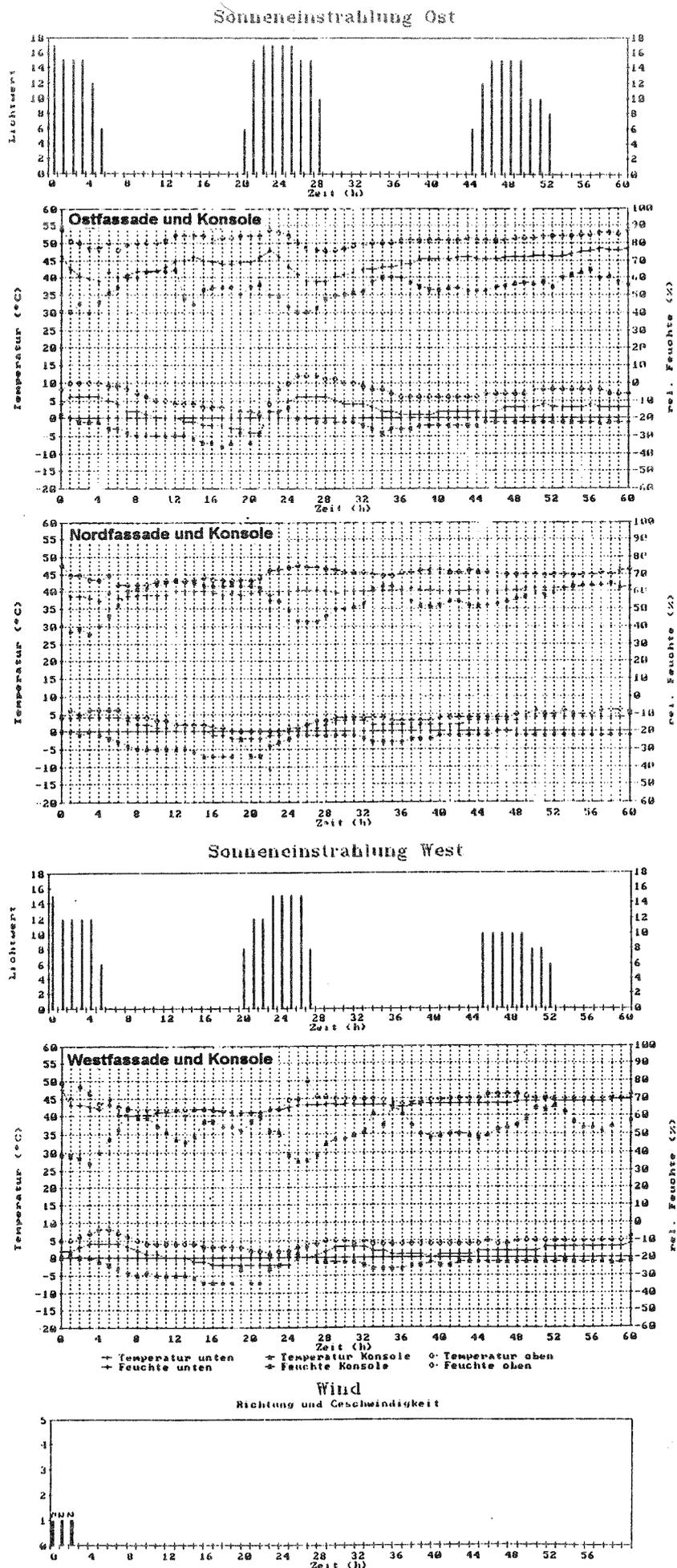
### Wind Richtung und Geschwindigkeit



**Bild 36:** Einfluß von Sonneneinstrahlung, Wind und Schlagregen auf das Innen- und Außenklima der Fassade (München 3)



**Bild 37:** Einfluß von Sonneneinstrahlung und Wind auf das Innen- und Außenklima der Fassade (München 4)



**Bild 38:** Einfluß von Sonneneinstrahlung und Wind auf das Innen- und Außenklima der Fassade (München 5)

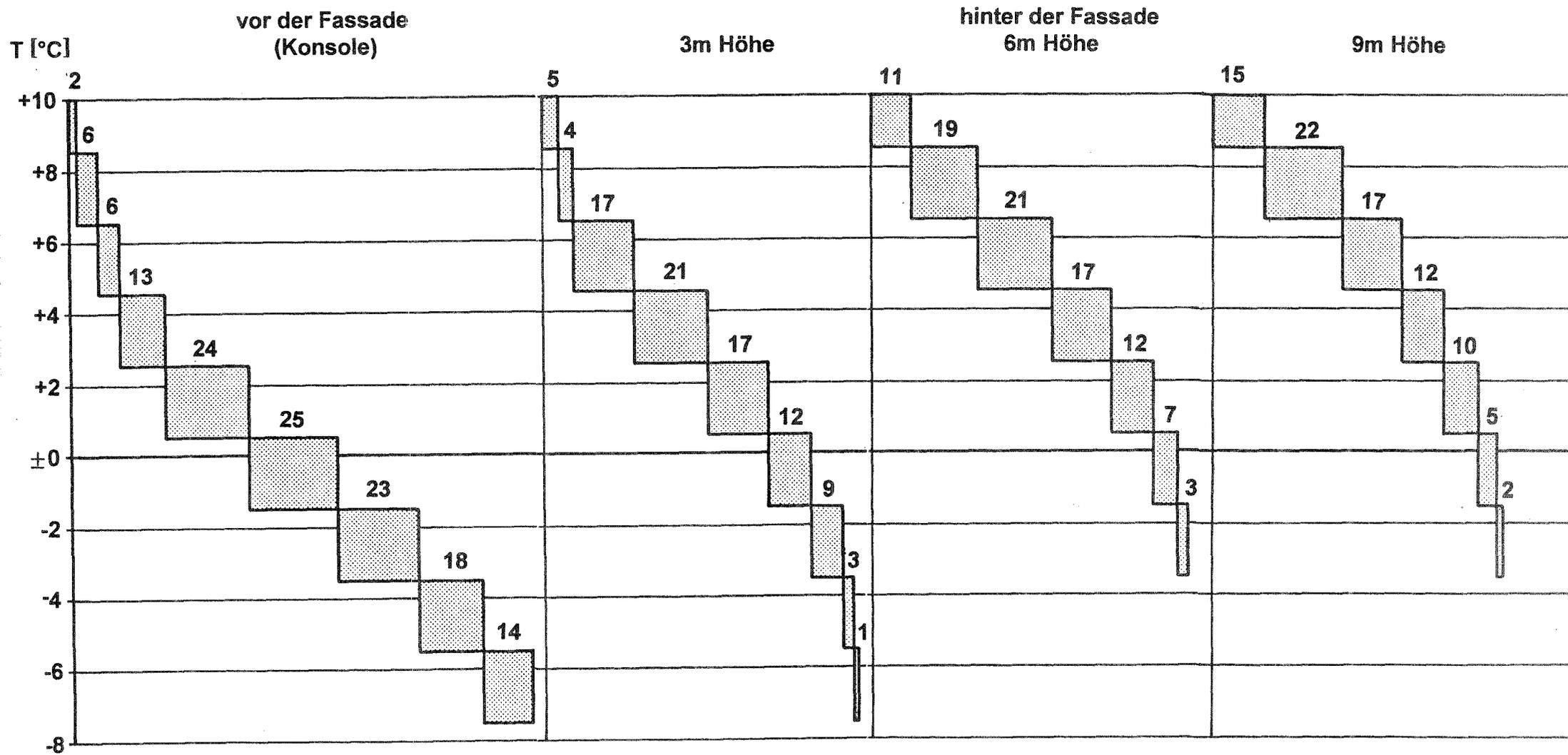


Bild 39: Summe der Temperaturwechsel in 2K-Schritten vor und hinter der Münchner Ostfassade

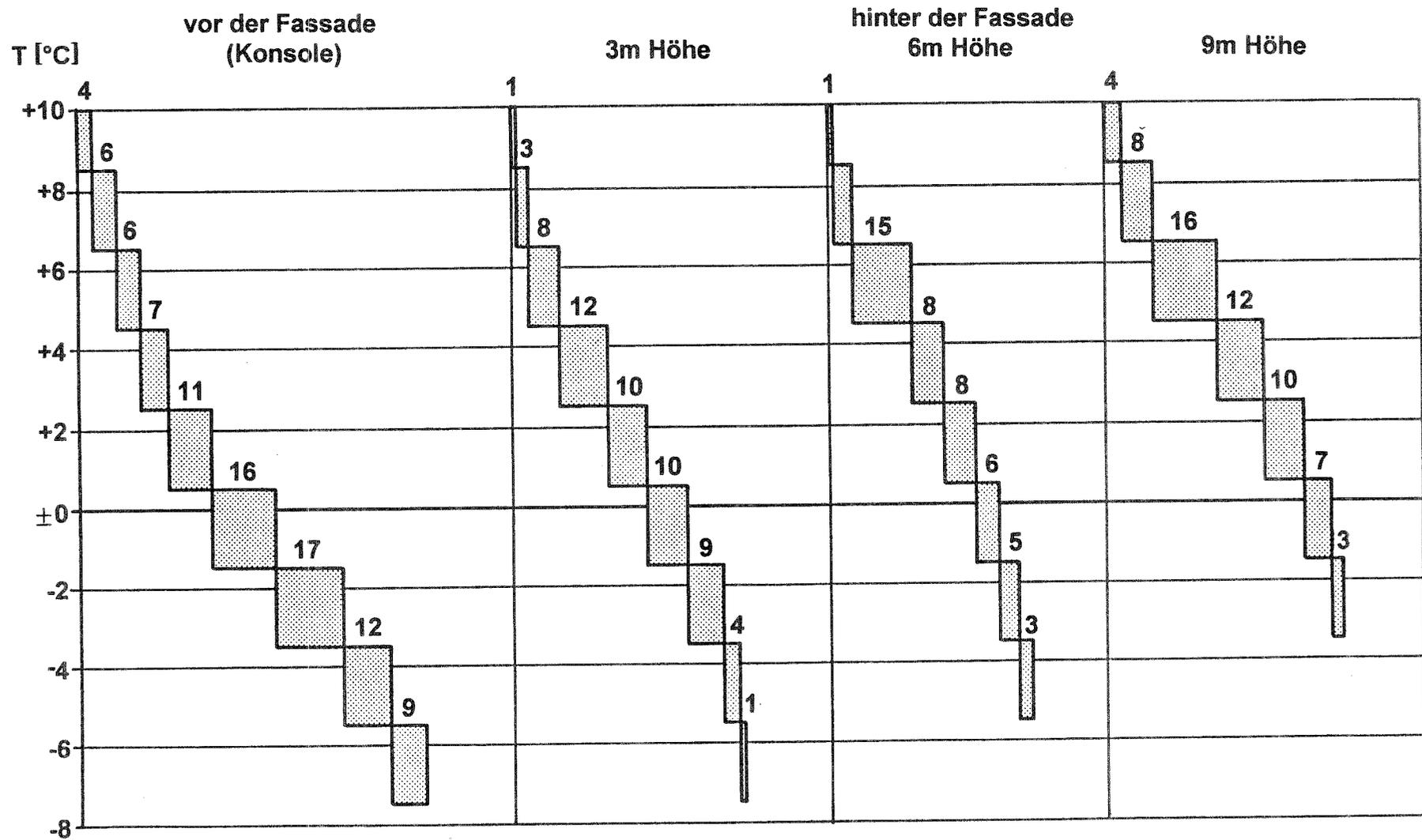


Bild 40: Summe der Temperaturwechsel in 2K-Schritten vor und hinter der Münchner Nordfassade

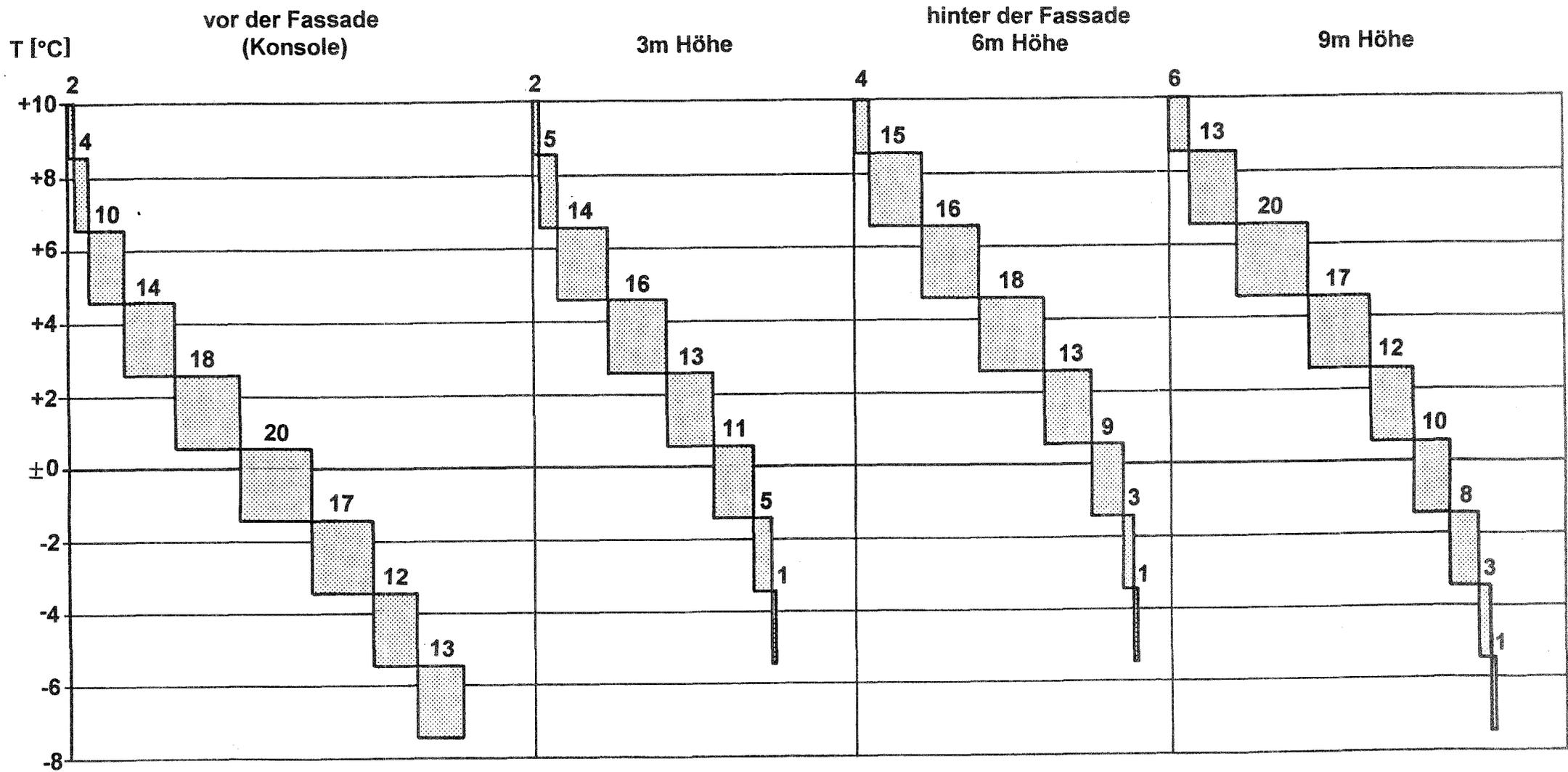


Bild 41: Summe der Temperaturwechsel in 2K-Schritten vor und hinter der Münchner Westfassade

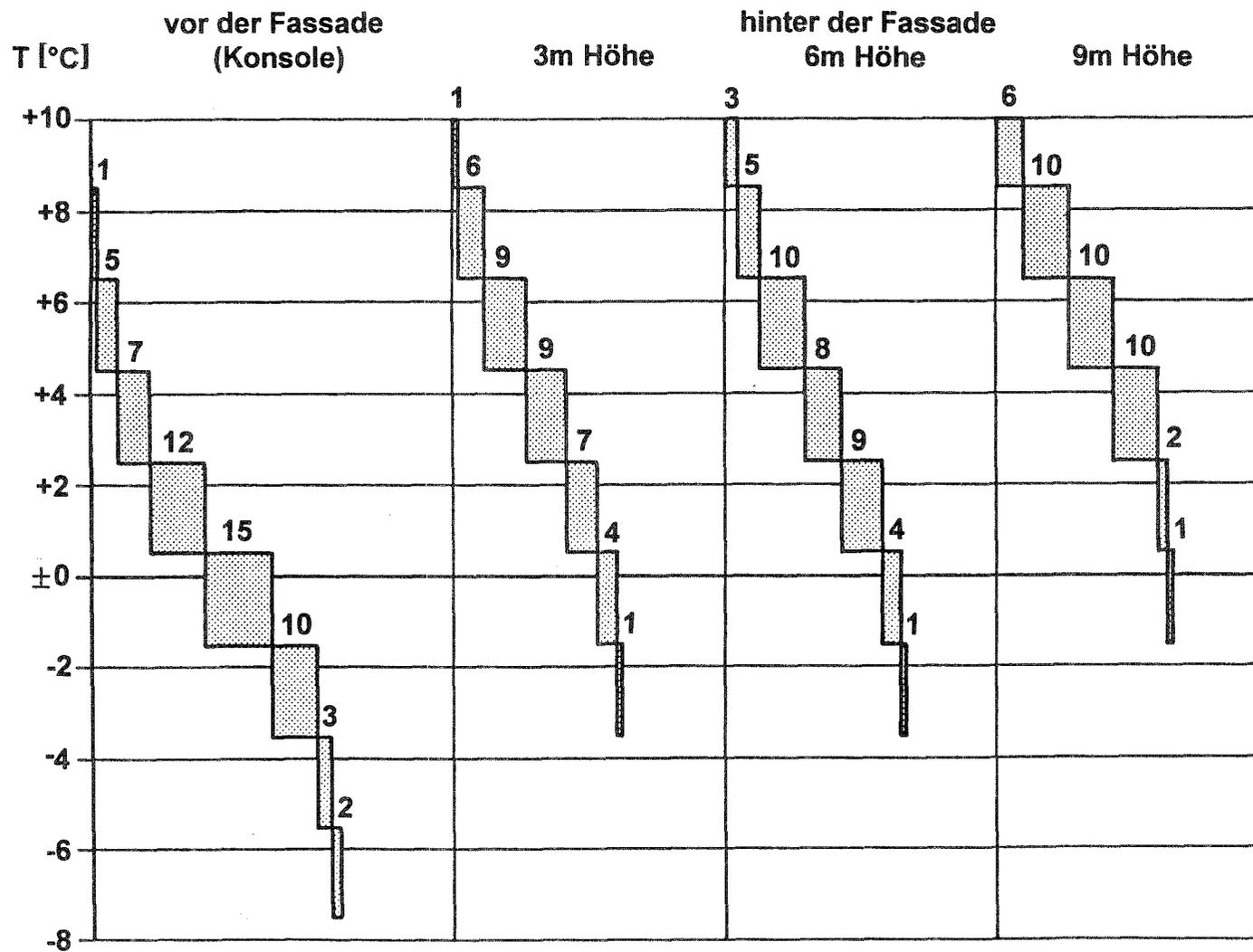


Bild 42: Summe der Temperaturwechsel in 2K-Schritten vor und hinter der Hamburger Ostfassade

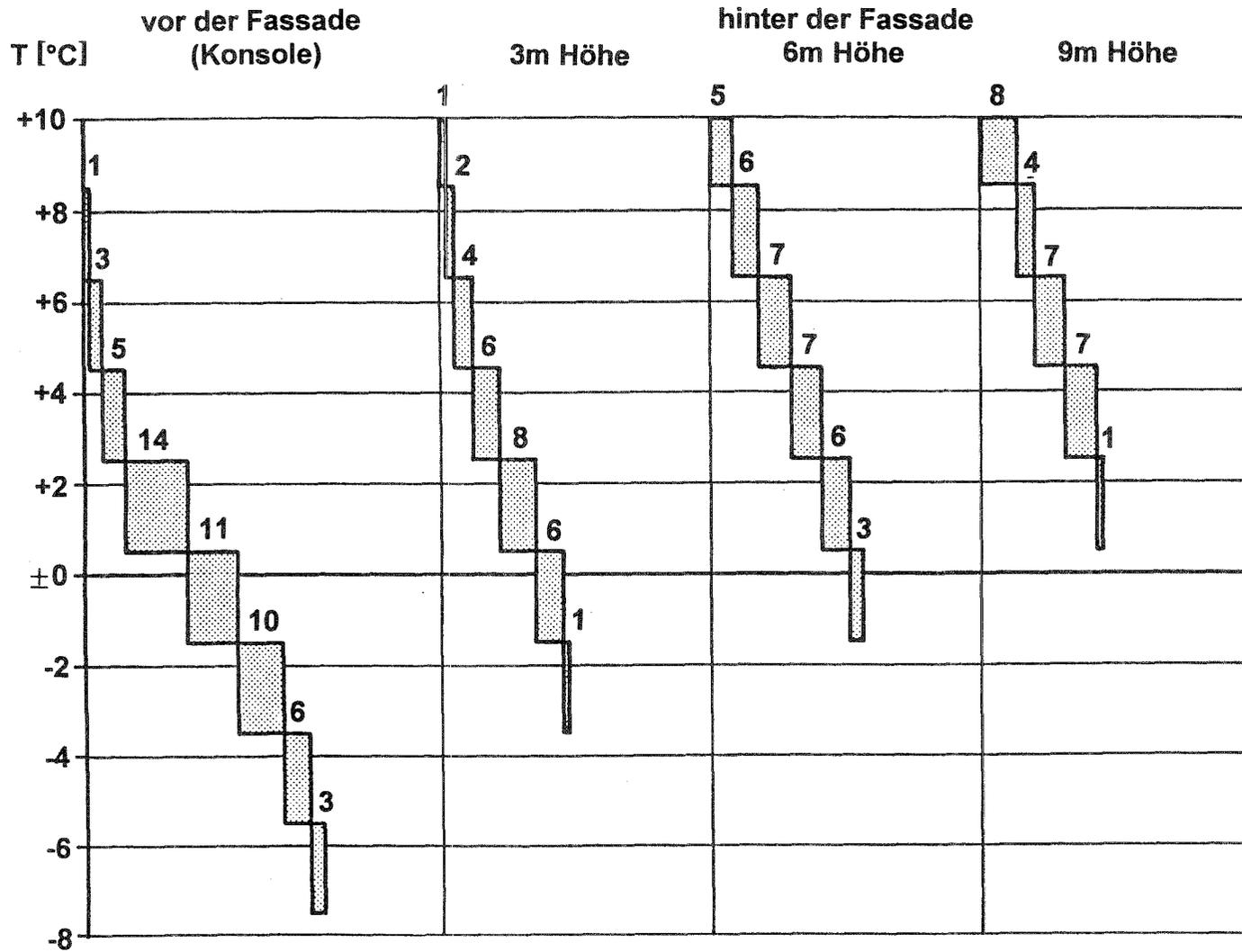


Bild 43: Summe der Temperaturwechsel in 2K-Schritten vor und hinter der Hamburger Nordfassade

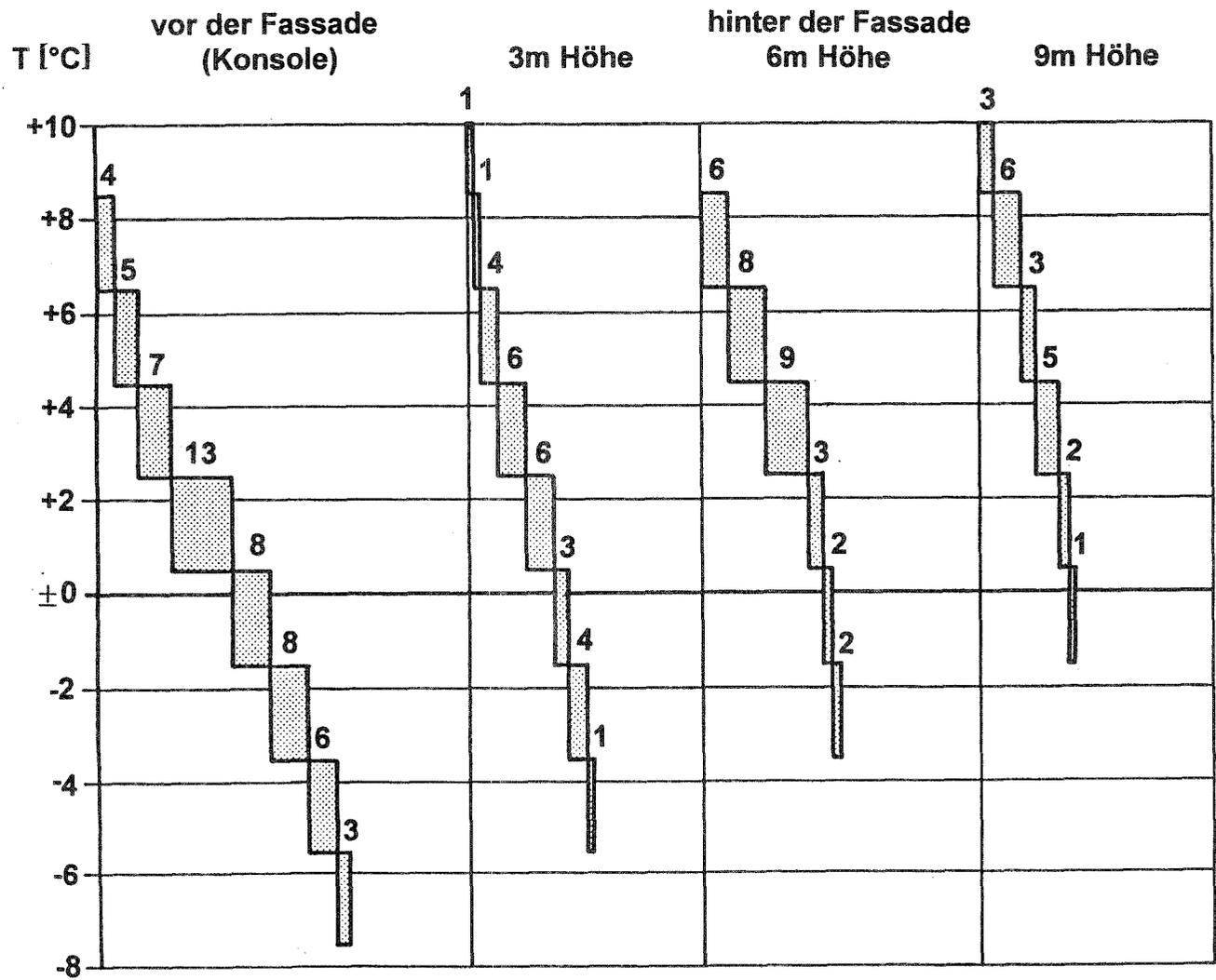


Bild 44: Summe der Temperaturwechsel in 2K-Schritten vor und hinter der Hamburger Westfassade

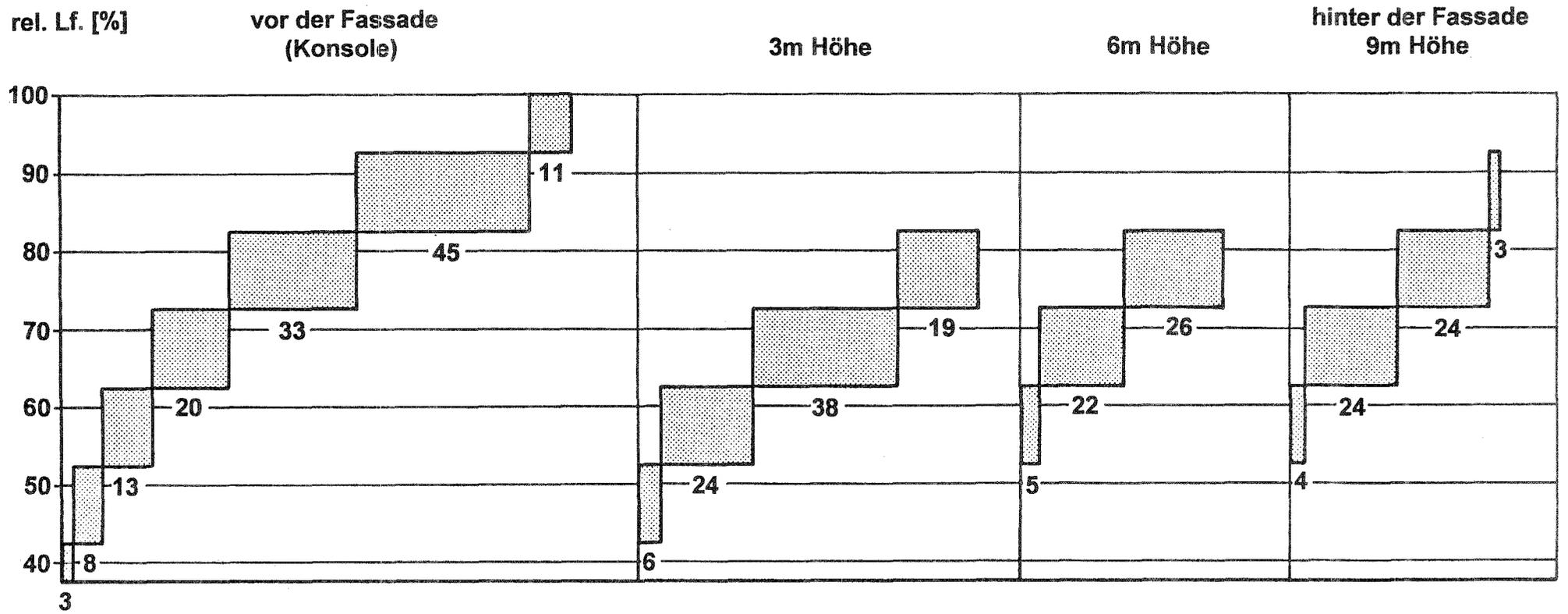


Bild 45: Summe der Feuchtewechsel in 10%-Schritten (rel. Feuchte) vor und hinter der Münchner Ostfassade

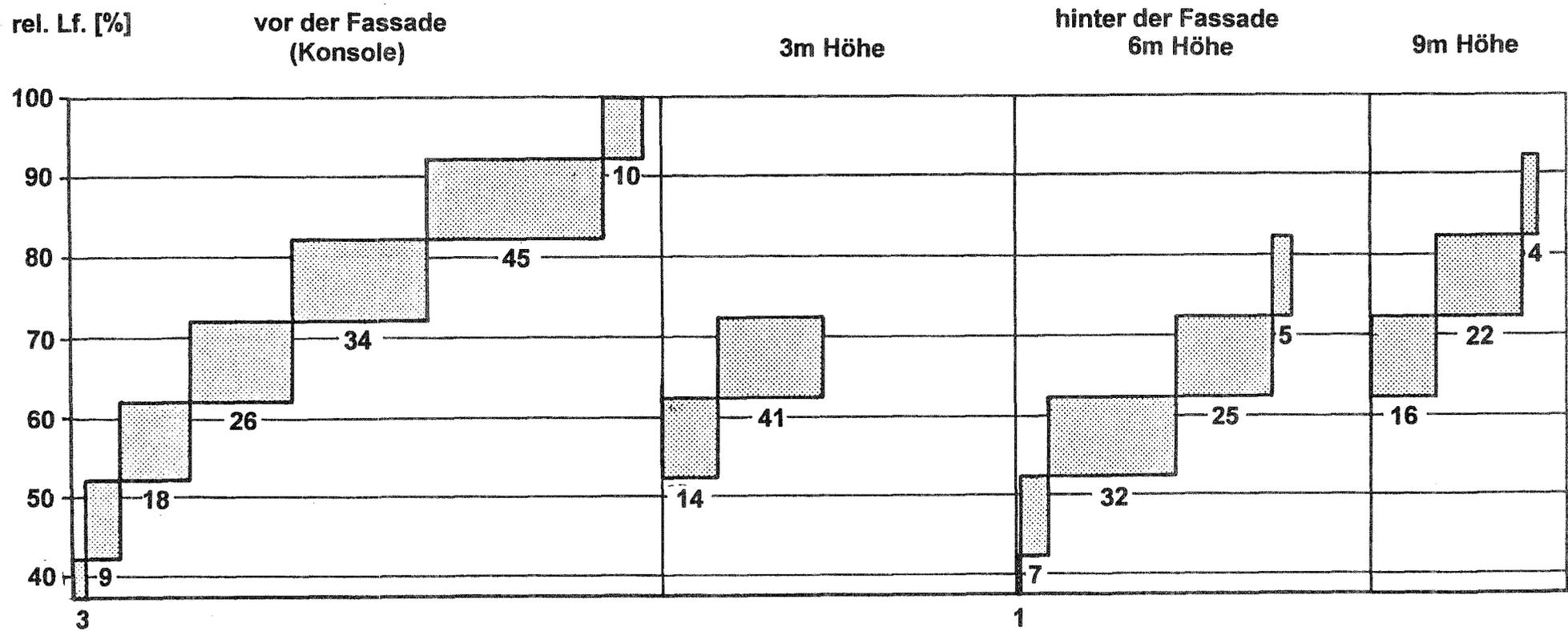


Bild 46: Summe der Feuchtewechsel in 10%-Schritten (rel. Feuchte) vor und hinter der Münchner Nordfassade

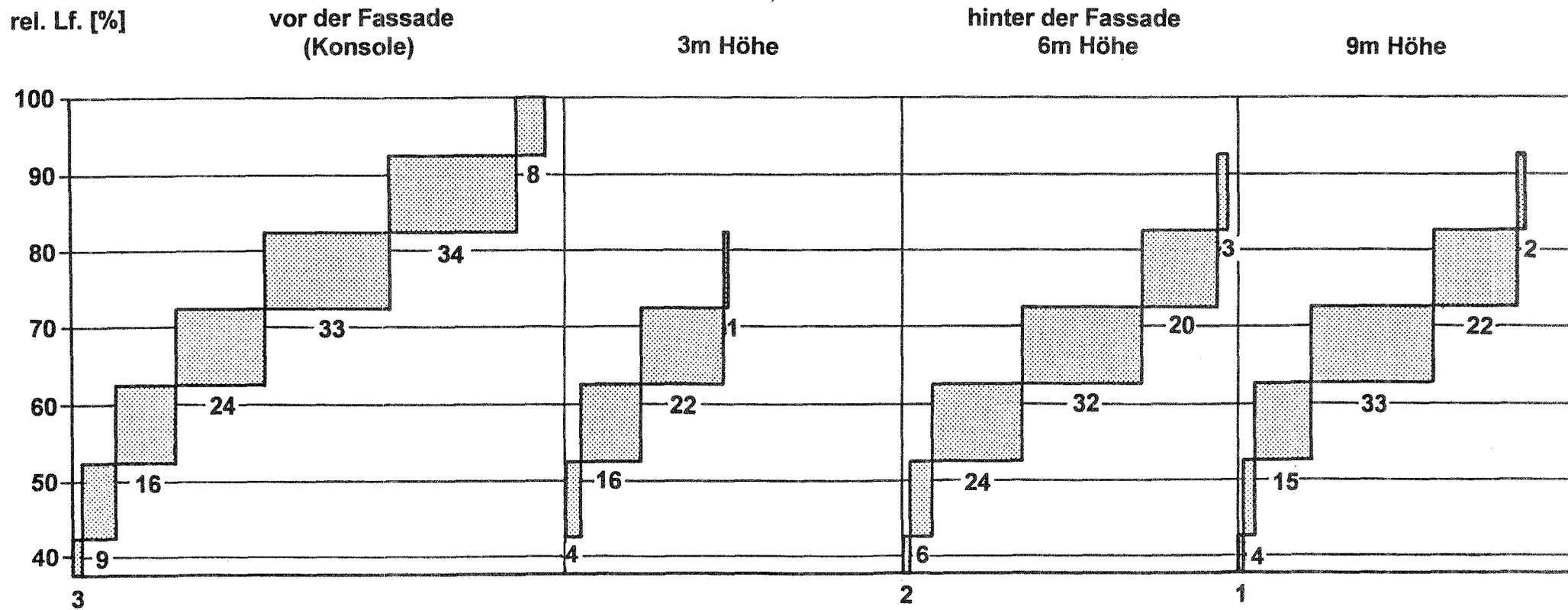


Bild 47: Summe der Feuchtewechsel in 10%-Schritten (rel. Feuchte) vor und hinter der Münchner Westfassade

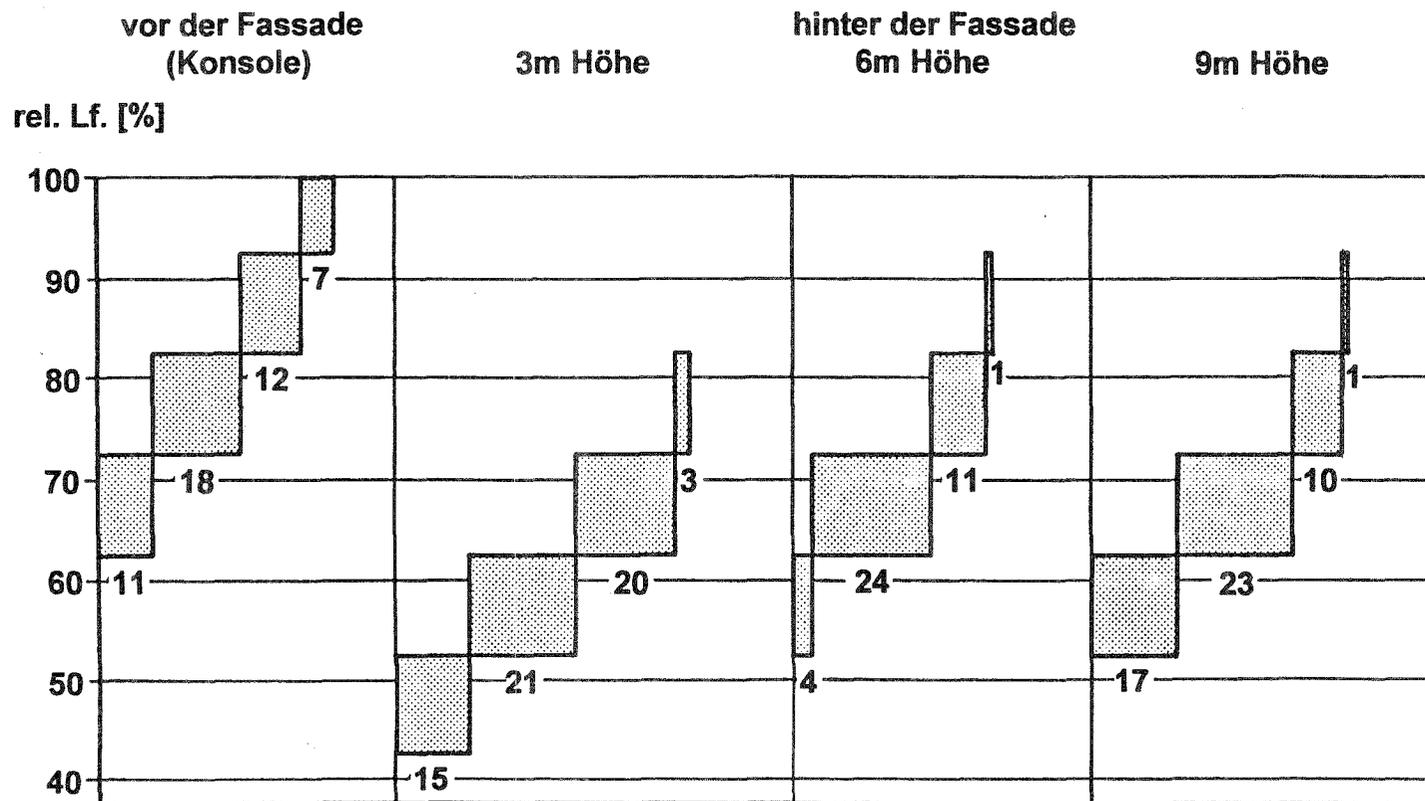


Bild 48: Summe der Feuchtewechsel in 10%-Schritten (rel. Feuchte) vor und hinter der Hamburger Ostfassade

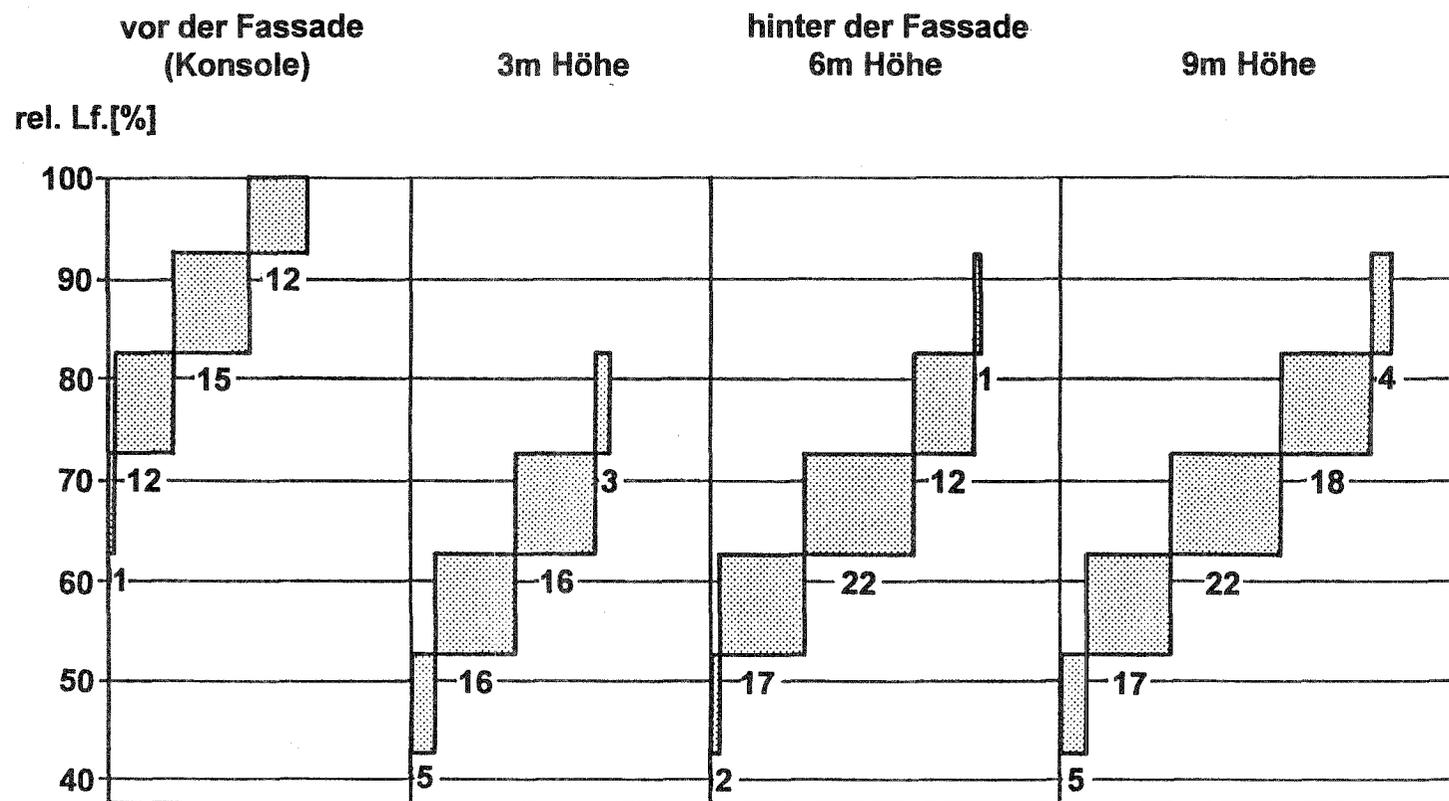


Bild 49: Summe der Feuchtewechsel in 10%-Schritten (rel. Feuchte) vor und hinter der Hamburger Nordfassade

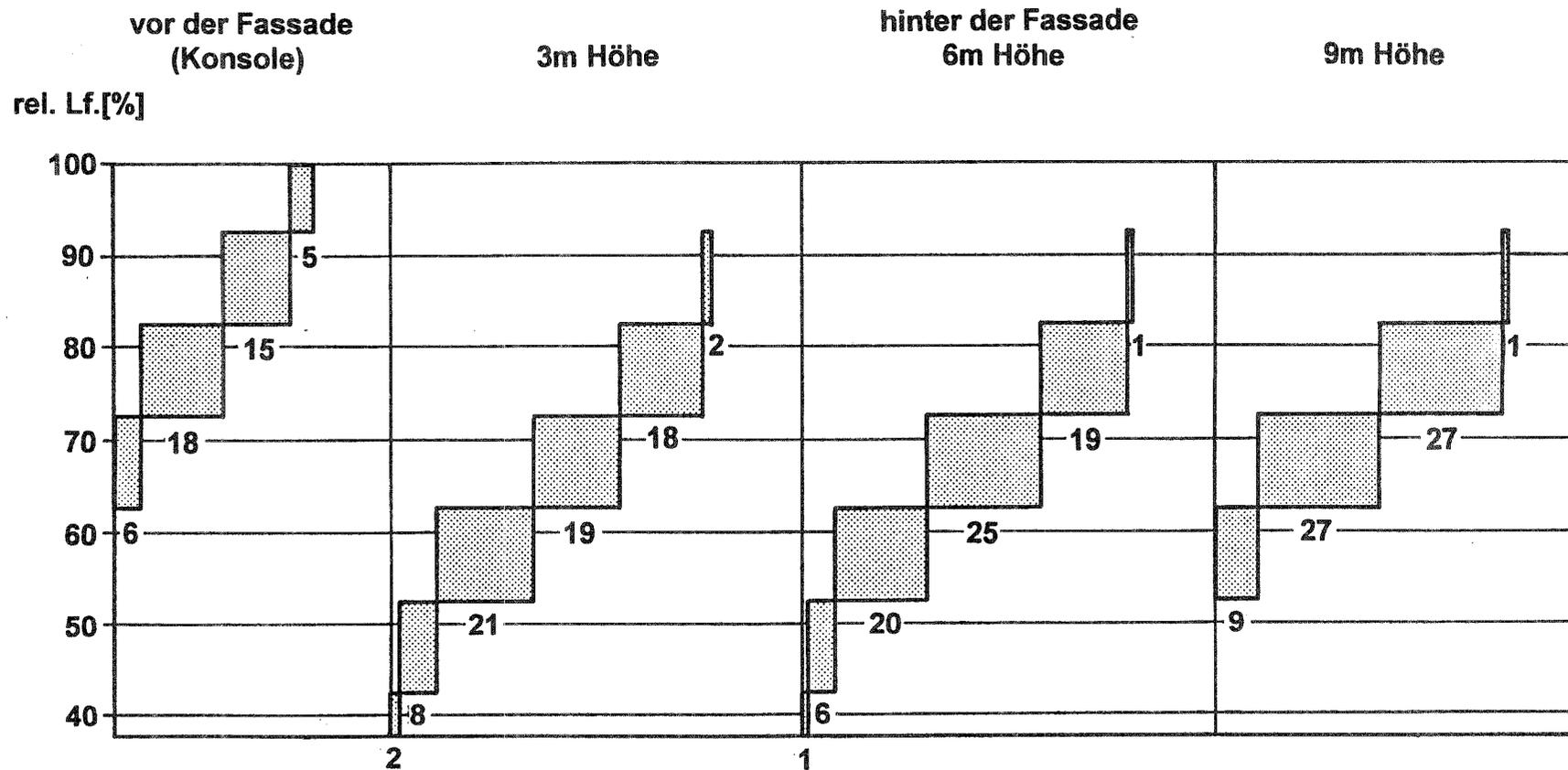


Bild 50: Summe der Feuchtwchsel in 10%-Schritten (rel. Feuchte) vor und hinter der Hamburger Westfassade

SUMMARY:

The measurements should clear up the influence of the climatic components, as temperature, relative humidity of the atmosphere, intensity of the solar radiation, wind and rain, on the climate in front of and behind a façade.

The investigated façades were fixed up on buildings situated in 2 different climatic zones in Germany, namely München and Hamburg. The climatic zones were found out of the part I of this research work.

The measurement had to following resultats:

- In München as in Hamburg the climat behind the façade is more leveled out than in front of the façade.
- The temperature behind the façade is in average 4 K higher than in front of the façade and in consequence of the real outdoor-temperatures it descends only rarely below 0° C.
- The number of variations of temperature behind the façade is clearly lower than outdoors.
- With increasing distance of the point of measurements from the ground of building (height of the point of measurements) the temperature behind the façade increases.
- The number of the variations of the relative humidity in Hamburg behind the façade is the same as in front of the façade. In München behind the façade more variations of the relative humidity were found than outdoors.
- The relative humidity behind the façade always was lower than outdoors.
- During the time of measurements the façade only rarely was exposed to pelting rain and therefore there couldn't be found a general applicable relation between the climate behind the façade and the pelting rain.
- The intensity of solar radiation higher than 16 L caused great variations of the temperature and of the relative humidity behind the façade.

## RÉSUMÉ:

Les recherches doivent clarifier l'influence des composantes climatiques (la température, l'humidité atmosphérique relatif, l'insolation du soleil, le vent et la pluie) sur le climat devant et derrière les façades des bâtiments.

Les façades se trouvent aux bâtiments situés dans 2 différentes zones de climat en Allemagne, aux villes München et Hamburg. Les zones de climat ont été constatées dans le part I de ces recherches.

Les mesures étaient réalisées pendant des 4 hivers.

Les mesures prouvent les résultats suivants:

- À München et à Hamburg le climat derrière la façade était plus égalisé que devant la façade.
- La température derrière la façade en moyenne se trouve 4 K au-dessus de la température devant la façade et en conséquence des températures réelles elle descendait au-dessous de 0° C seulement rare.
- Il y avait moins des variations de la température derrière que devant la façade.
- La température derrière la façade hausse comme la distance du point de mesure au fond du bâtiment s'augmente.
- Le nombre des variations d'humidité à Hamburg est derrière la façade si grand que devant la façade. À München le nombre des variations d'humidité derrière la façade est moins de devant la façade.
- L'humidité derrière la façade est toujours moins de devant de façade.
- Pendant le temps de recherches il y avait de pluie seulement rare à la façade, et c'est pourquoi nous ne pouvons pas trouver une relation générale entre le climat derrière la façade et la pluie, qui arrivait à la façade.
- L'insolation du soleil plus de 16 L causait des grandes variations de température et d'humidité.