Berechnung der Elementeinstrahlzahlen in einem neuartigen Raummodell

Bernd Glück

Ein neuentwickeltes, bausteinartig aufgebautes Raummodell betrachtet vorrangig die wärmetechnischen Transportvorgänge im Raum und nimmt die wärmephysiologischen Überprüfungen vor. Dabei spielt verständlicherweise der Strahlungsaustausch und damit die Berechnung der Einstrahlzahlen eine bedeutende Rolle. In [1] wurden die Darstellung der Raumgeometrie sowie die Grundlagen zur numerischen Berechnung der Element- und die Flächeneinstrahlzahlen behandelt. Nachfolgend wird die detaillierte numerische Ermittlung der Elementeinstrahlzahlen unter Beachtung von Hindernissen im Strahlengang sowie ein Vorschlag zur Fehlerkompensation vorgestellt. Sie sind für wärmephysiologische Betrachtungen unerläßlich. Die Ermittlung nimmt Bezug auf eine im Raum frei definierbare Prüfrasterebene. Eine Übersicht zum gesamten Raummodell findet sich im Internet http://www.rom.de.

Einleitung

Die Strahlungsberechnungen schließen beim oben genannten Raummodell wahlweise auch die Modellierung des Interieurs mit ein. Dadurch entstehen sehr komplizierte Raumgeometrien, so daß die Ermittlung der Einstrahlzahlen numerisch erfolgen muß. In [1] wurden alle Flächen in Form von *Dreiecksflächen* dargestellt. Dies bietet den Vorteil, daß mit den drei Eckpunkten die *Lage* und die *Größe* der betrachteten Fläche eindeutig beschrieben ist.

Die Elementeinstrahlzahlen werden zum Nachweis der wärmephysiologischen Verhältnisse benötigt. Die Einstrahlzahlen von *kugelförmigen Elementen* auf alle Raumoberflächen sind erforderlich zur Berechnung der *globalen Strahlungstemperatur*, aus der in Verbindung mit der *örtlichen Lufttemperatur* die *Empfindungstemperatur* (operative Raumtemperatur) folgt. Die detaillierten Zusammenhänge sind [2] zu entnehmen. Die Einstrahlzahlen von *Flächenelementen* auf die Raumoberflächen sind zur Ermittlung der – an den jeweils betrachteten Raumpunkten – vorhandenen *Strahlungstemperatur-Asymmetrie* notwendig. Eine umfangreiche Ausarbeitung findet sich in [3], die zulässigen Grenzwerte sind in [4] wiedergegeben.

Hinweis zur Variablenschreibweise: Im Text werden die Charakterisierung der Variablen und die Laufvariablen als Indizes geschrieben, z. B. stellt $A_{D,i}$ die Fläche des Dreiecks mit der Nummer i dar. Bei EDV-Darstellungen (Flußbilder, Ein- und Ausgaben) werden die Indizes auf Zeilenhöhe und die Laufvariablen in eckige Klammern gesetzt, z. B. AD[i]. In den In- und Outputs sind beide Darstellungen vermerkt.

Einstrahlzahlen von Elementen auf Flächen

Die Berechnung der Einstrahlzahlen von ebenen oder kugelförmigen Elementen auf Flächen stellt eine Vereinfachung gegenüber der Ermittlung der mittleren Einstrahlzahlen von Flächen auf Flächen dar. Genauer gesagt, handelt es sich bei der Berechnung der Einstrahlzahlen von ebenen Elementen auf Flächen um die grundlegende Ermittlung für die Bestimmung von Flächeneinstrahlzahlen, denn die elementbezogenen Größen werden entsprechend der Flächenwichtung gemittelt und summiert. Damit sind die nun zu betrachtenden Algorithmen bereits im entsprechenden Flußplan von [1] enthalten. Die spezielle Programmgestaltung nimmt im weiteren Bezug auf die direkte Anwendung im Raummodell. Wie bereits angesprochen, werden zur Ermittlung der globalen Strahlungstemperatur und der Strahlungstemperatur-Asymmetrie die Einstrahlzahlen von kugelförmigen Elementen und ebenen Flächenelementen benötigt. Da die Orientierung der letzteren allseitig im Raum vorhanden sein kann – sie sollen die Lage des menschlichen Kopfes nachvollziehen –, werden die *Flächenelemente eines infinitesimal kleinen Würfels* verwendet. Dieser Elementarwürfel sollte – um allgemeingültige Aussagen zu erhalten – parallel zu den Achsen des Koordinatensystems und zusätzlich um 45° gedreht zu den x, y-Achsen

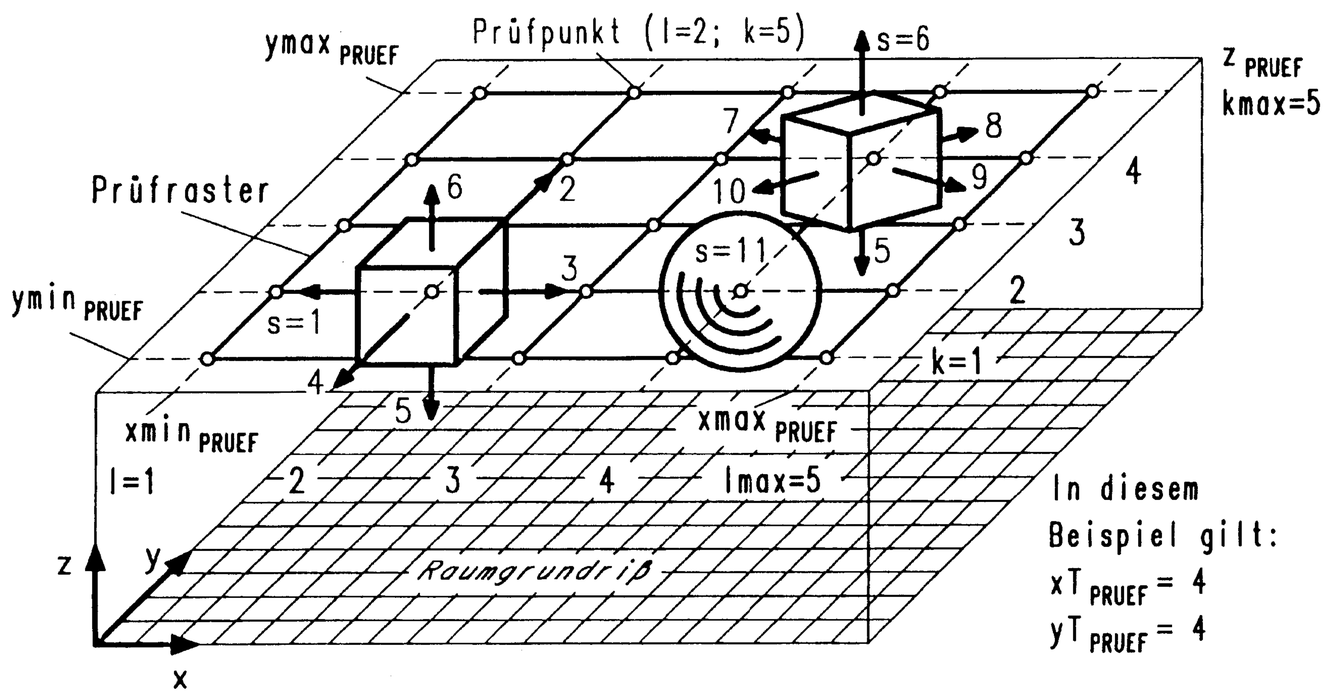

Bild 1. Geometrie des Prüfpunktrasters mit Kennzeichnung der Prüfelemente.

Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, ROM-Zentrale, Hamburg.

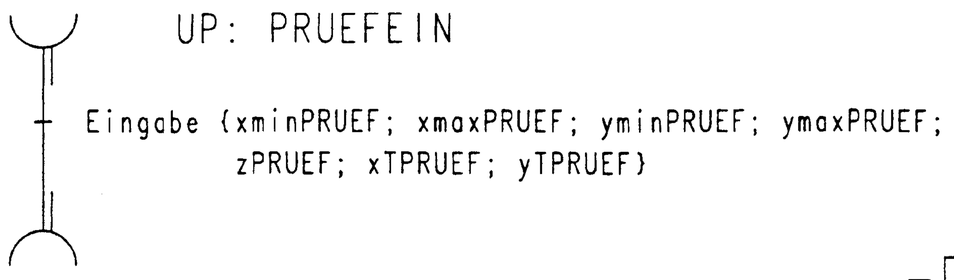

Bild 2. Datenflußplan PRUEFEIN zur Eingabe der Prüfrasterdaten.

orientiert sein. Weiterhin ist jeder beliebige Standort im Raum zu untersuchen, um letztendlich eine flächenförmige Verteilung der behaglichkeitsrelevanten Größen über den Raumgrundriß darstellen zu können.

Die algorithmenmäßige Abarbeitung der Elementeinstrahlzahlen wird deshalb auf einer geometrisch eindeutig fixierten *Rasterebene* vorgenommen. Die Parameter dieser Rasterebene, die wegen ihrer späteren Nutzung auch kurz als *Prüfraster* bezeichnet wird, ist im *Bild 1* zusammen mit der beispielhaften Anordnung der *Prüfkörper* dargestellt. Durch geeignete Wahl – z.B. Anzahl der Teilungen $xT_{PRUEF} = 0$ oder/und $yT_{PRUEF} = 0$ – kann die Anzahl der Rasterpunkte bis auf einen Einzelpunkt reduziert werden. Damit ist dann die Berechnung der Einstrahlzahl eines Flächenelementes an jedem beliebigen Punkt auf die Raumoberflächen möglich.

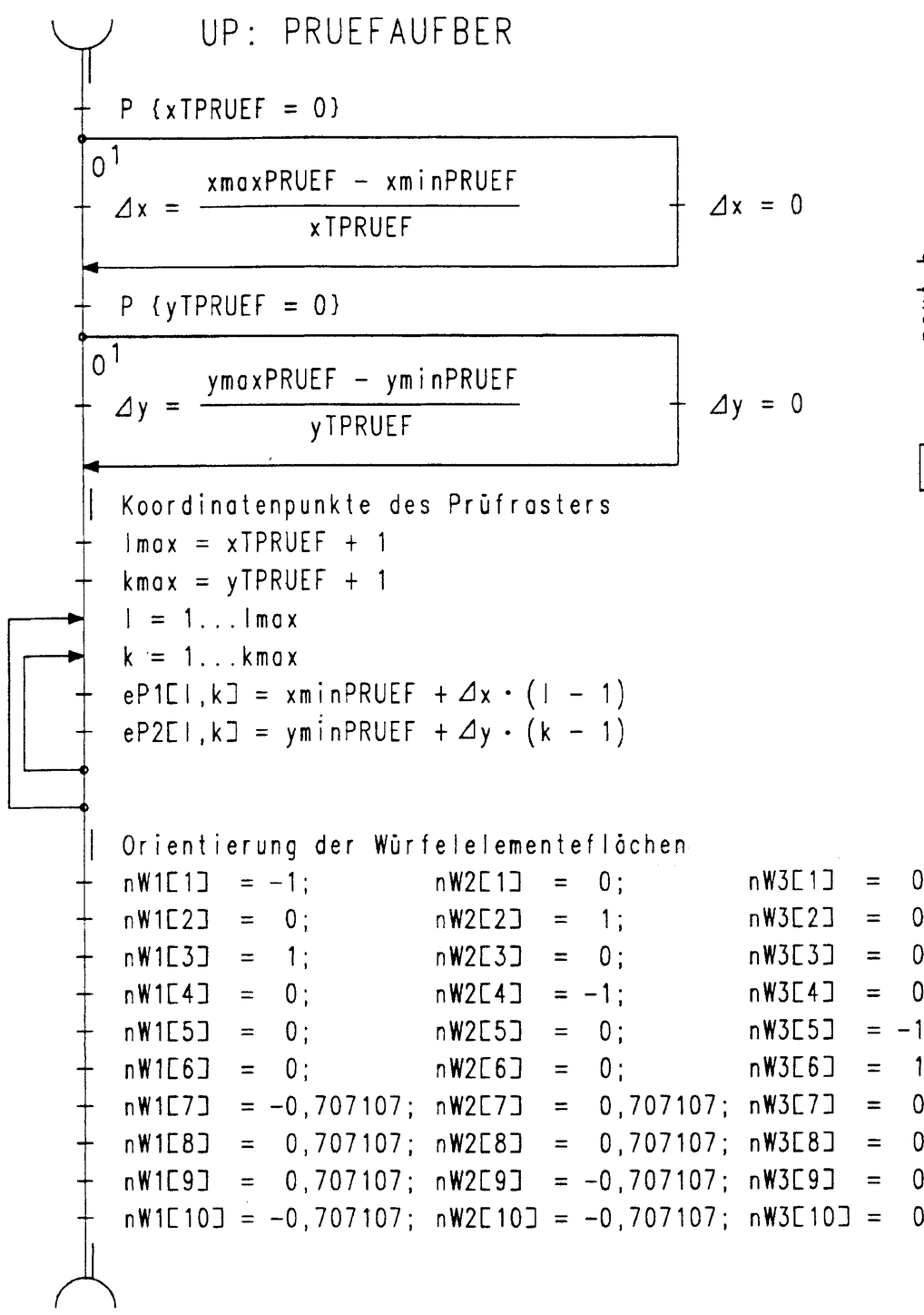

Bild 3. Datenflußplan PRUEFAUFBER zur Bestimmung der Prüfpunkt- und Prüfelementdaten.

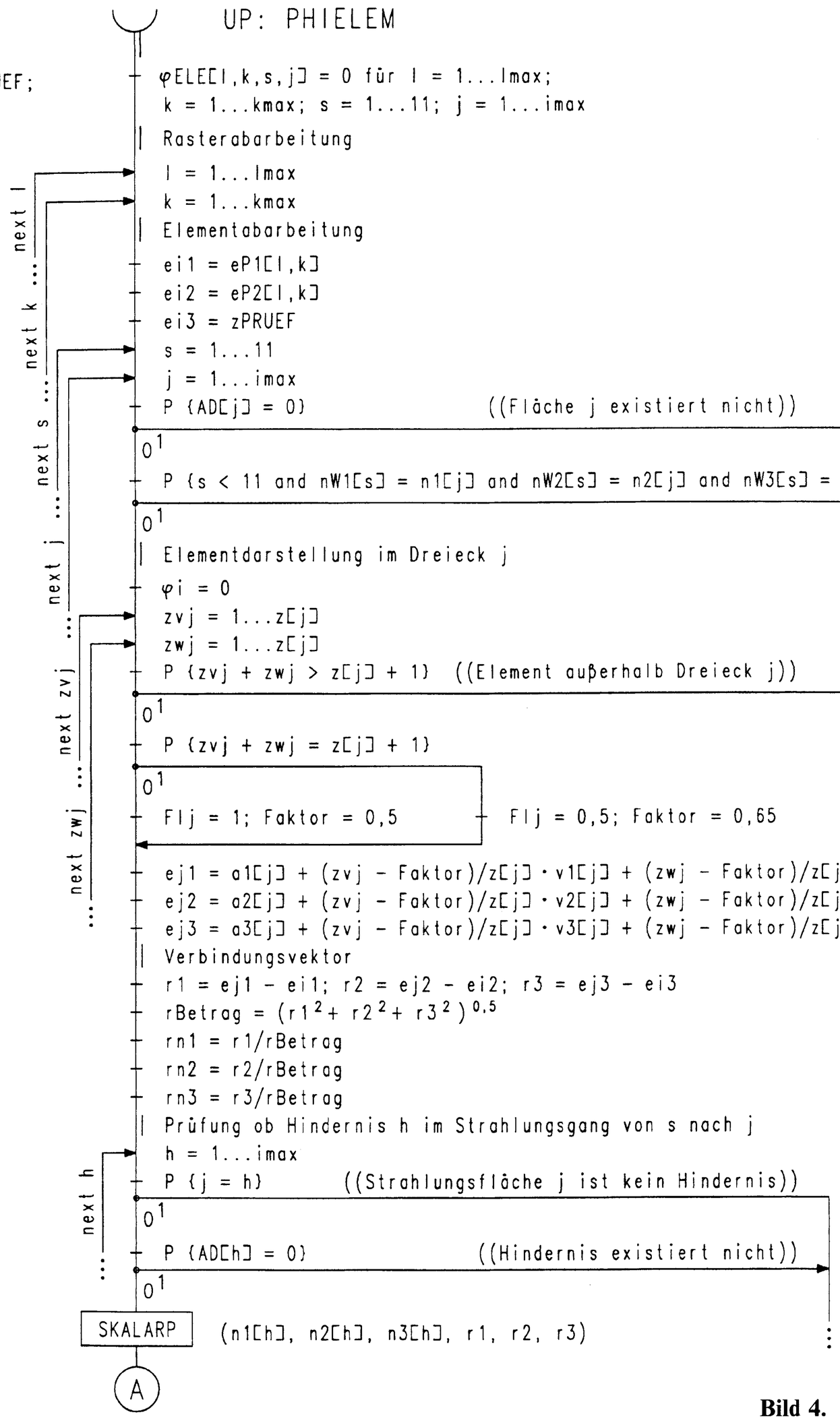

Bild 4.

Die Lage der Prüfebene und ihre Rasterung kann mit wenigen Eingaben beschrieben werden. Das Unterprogramm PRUEFEIN (Prüfrastereingabe) gemäß *Bild 2* dient dazu, die zugehörigen Werte datentechnisch einzubringen.

Input PRUEFEIN

$xmin_{PRUEF}$	xmin PRUEF	m	Begrenzungskoordinaten des Prüfrasters
$xmax_{PRUEF}$	xmax PRUEF	m	
$ymin_{PRUEF}$	ymin PRUEF	m	
$ymax_{PRUEF}$	ymax PRUEF	m	
z_{PRUEF}	zPRUEF	m	Höhe des Prüfrasters über dem Boden
xT_{PRUEF}	xTPRUEF	–	Anzahl der Teilungen in der Rasterebene in x- bzw. y-Richtung
yT_{PRUEF}	yTPRUEF	–	

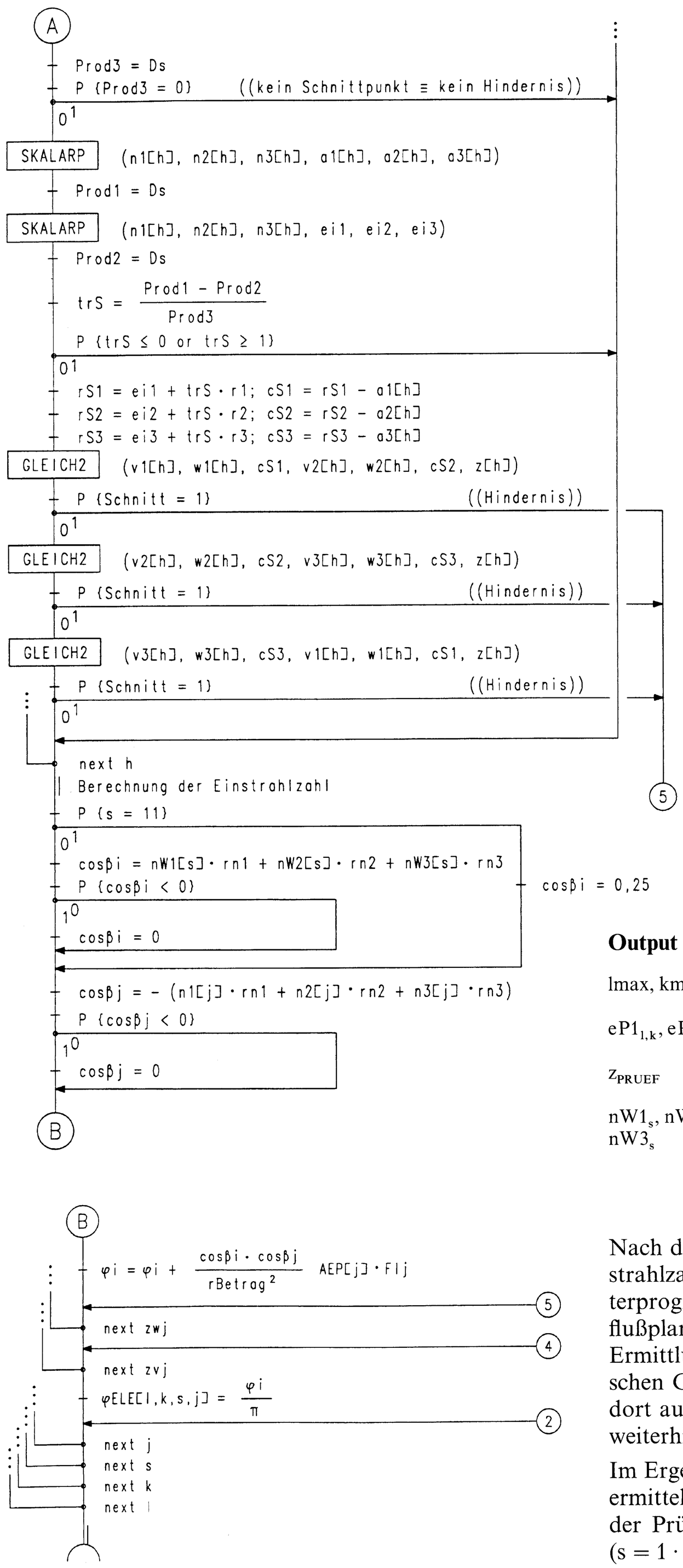

Bild 4. Datenflußplan PHIELEM zur Berechnung der Einstrahlzahlen $\varphi_{l,k,s,j}$ zwischen den Prüfelementen s und den imax Oberflächen j eines Raumes für alle Rasterpunkte l, k.

Diese Daten werden lediglich abgespeichert, einen speziellen Output gibt es nicht.

Im rechentechnischen Ablauf ist das Unterprogramm PRUEFAUFBER (Prüfrasteraufbereitung) anzuschließen (*Bild 3*). Der Algorithmus ist in Verbindung mit *Bild 1* gut verständlich. Es werden die Koordinaten der Rasterpunkte in der x, y-Ebene $eP1_{l,k}$, $eP2_{l,k}$ in Abhängigkeit der Laufvariablen l und k bestimmt. Die Höhe der Punkte in z-Richtung ist konstant z_{PRUEF}. Die höchsten Laufvariablen folgen aus den gewünschten Teilungen zu lmax und kmax. Weiterhin werden die Einheitsvektoren, die normal auf den Flächenelementen der Würfel stehen, festgelegt. Die relevanten Flächen $s = 1 \cdots 10$ und ihre *Normalenvektoren* sind im *Bild 1* gekennzeichnet. Die zugehörigen Komponenten nW1, nW2, nW3 sind aus *Bild 3* ablesbar. Das kugelförmige Element $s = 11$ strahlt allseits, ohne bevorzugte Richtung in den Raum. Eine Flächennormale existiert nicht, und die zugehörige Berechnungsgleichung (vgl. [1] Gl. (15)) enthält deshalb auch nicht den Term $\cos\beta_i$.

Input PRUEFAUFBER

Es handelt sich hierbei um die in PRUEFEIN benannten Daten.

Output PRUEFAUFBER

lmax, kmax	lmax, kmax	–	maximale Anzahl der Prüfrasterpunkte
$eP1_{l,k}$, $eP2_{l,k}$	eP1 [l, k], eP2 [l, k]	m	x- und y-Koordinate der Prüfrasterpunkte
z_{PRUEF}	zPRUEF	m	z-Koordinate der Prüfrasterpunkte
$nW1_s$, $nW2_s$, $nW3_s$	nW1 [s], nW2 [s], nW3 [s]	–	Einheitsvektor in Normalenrichtung der Flächenelemente der Prüfwürfel

Nach diesen Vorarbeiten kann die Berechnung der Einstrahlzahlen vorgenommen werden. Dazu dient das Unterprogramm PHIELEM (Phi-Elemente). Der Datenflußplan (*Bild 4*) enthält zahlreiche Passagen aus dem zur Ermittlung der Flächeneinstrahlzahlen. Die theoretischen Grundlagen sind in [1] ausführlich erläutert, die dort aufgeführten Routinen der *Bilder 13* und *14* gelten weiterhin.

Im Ergebnis liegen die Einstrahlzahlen $\varphi_{l,k,s,j}$ numerisch ermittelt vor. l und k kennzeichnen den Rasterpunkt auf der Prüfebene, s ist die Laufvariable für das Element ($s = 1 \cdots 10$ Flächenelemente der Würfel gemäß *Bild 1*, $s = 11$ Kugelelement) und j durchläuft in bekannter Weise alle Raumoberflächen von $j = 1 \cdots$ imax. Verschattungen h, die aus der Menge $j = 1 \cdots$ imax stammen, finden

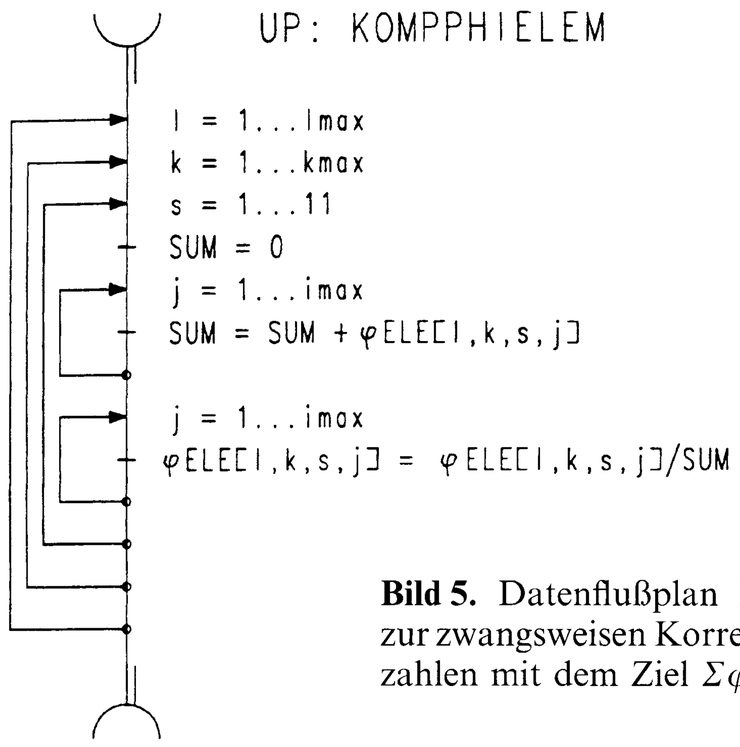

Bild 5. Datenflußplan KOMPPHIELEM zur zwangsweisen Korrektur der Einstrahlzahlen mit dem Ziel $\Sigma\varphi = 0$.

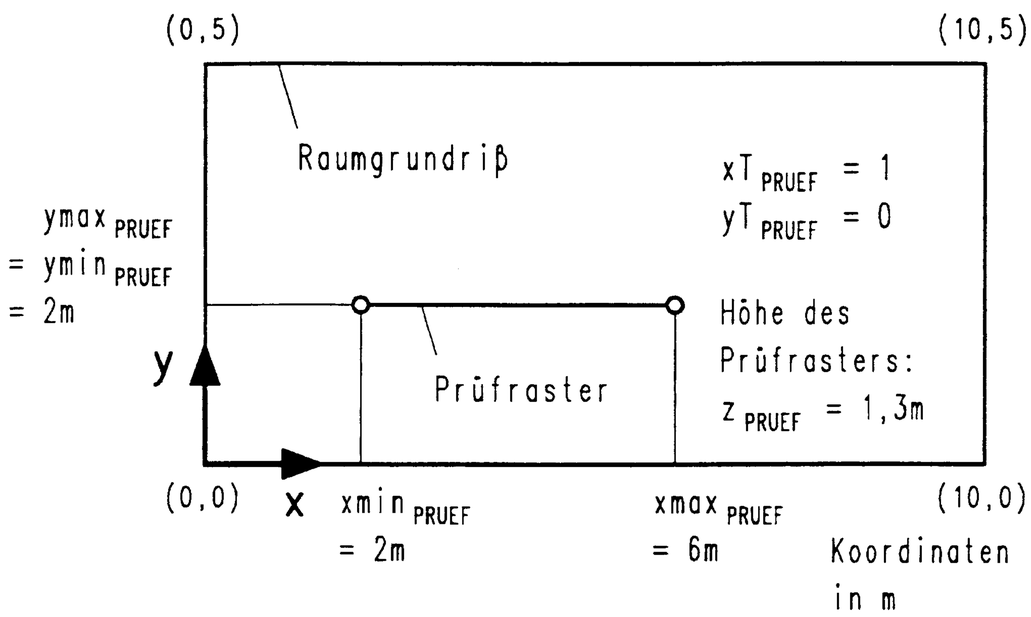

Bild 6. Geometrie des auf zwei Punkte reduzierten Prüfrasters im Grundriß des Testraumes.

Beachtung. Die Elementflächen s können sich gegenseitig nicht verschatten.

Input PHIELEM

lmax, kmax	lmax, kmax	–	maximale Anzahl der Prüfrasterpunkte
$eP1_{l,k}$, $eP2_{l,k}$	eP1[l, k], eP2[l, k]	m	x- und y-Koordinate der Prüfrasterpunkte
$nW1_s$, $nW2_s$, $nW3_s$	nW1[s], nW2[s], nW3[s]	m	Einheitsvektor in Normalenrichtung der Flächenelemente der Prüfwürfel
z_{PRUEF}	zPRUEF	m	z-Koordinate der Prüfrasterpunkte
imax	imax	–	maximale Anzahl der Flächen
$a1_j$, $a2_j$, $a3_j$	a1[j], a2[j], a3[j]	m	Vektor **a** zum Flächenpunkt A
$v1_j$, $v2_j$, $v3_j$	v1[j], v2[j], v3[j]	m	Vektor **v** der Dreiecksseite AC
$w1_j$, $w2_j$, $w3_j$	w1[j], w2[j], w3[j]	m	Vektor **w** der Dreiecksseite AB
z_j	z[j]	–	Anzahl der Seitenunterteilungen
$A_{D,j}$	AD[j]	m^2	Fläche des Dreiecks ABC
$A_{EP,j}$	AEP[j]	m^2	Fläche eines Parallelogrammelementes
$n1_j$, $n2_j$, $n3_j$	n1[j], n2[j], n3[j]	–	Einheitsvektor in Normalenrichtung der Fläche in den Raum zeigend

▽ **Bild 7.** Rechnerausdruck der numerisch ermittelten Elementeinstrahlzahlen $\varphi_{l,k,s,j}$ für beide Prüfrasterpunkte (Teilungsfaktor der Dreiecksseiten: $z_i = 10$).

j -	phi[1,j] -	phi[2,j] -	phi[3,j] -	phi[4,j] -	phi[5,j] -	phi[6,j] -	phi[7,j] -	phi[8,j] -	phi[9,j] -	phi[10,j] -	phi[11,j] -
	Prüfrasterpunkt l = 1 und k = 1										
1	0,092576	0,000000	0,107867	0,416932	0,024935	0,104336	0,000000	0,009173	0,305628	0,293175	0,125763
2	0,006906	0,000000	0,086243	0,118422	0,047011	0,001003	0,000000	0,017444	0,139837	0,045082	0,042650
3	0,041334	0,267759	0,062682	0,000000	0,009971	0,051508	0,177483	0,204430	0,003245	0,000000	0,076096
4	0,003079	0,097018	0,066438	0,000000	0,023569	0,001139	0,033891	0,113404	0,010091	0,000000	0,032518
5	0,278171	0,032959	0,000000	0,080911	0,009393	0,088993	0,162789	0,000304	0,000000	0,230908	0,082310
6	0,229978	0,102666	0,000000	0,014803	0,058898	0,010232	0,224747	0,004819	0,000000	0,105309	0,070092
7	0,000000	0,001517	0,035072	0,002982	0,002074	0,000773	0,000000	0,023764	0,025836	0,000000	0,008902
8	0,000000	0,005689	0,033063	0,000454	0,000307	0,003238	0,000000	0,027081	0,019678	0,000000	0,008514
9	0,218831	0,197603	0,261027	0,214552	0,770204	0,000000	0,205827	0,213641	0,247648	0,195789	0,265336
10	0,002898	0,079470	0,081948	0,000481	0,055064	0,000000	0,026736	0,111751	0,026779	0,000000	0,035378
11	0,157096	0,143406	0,203996	0,160260	0,000000	0,668691	0,150632	0,161453	0,195713	0,140207	0,216610
12	0,002983	0,081258	0,090049	0,000595	0,000000	0,074162	0,026542	0,118603	0,031070	0,000000	0,039454
Summe	**1,033851**	**1,009345**	**1,028387**	**1,010391**	**1,001425**	**1,004076**	**1,008648**	**1,005866**	**1,005524**	**1,010470**	**1,003624**
	Prüfrasterpunkt l = 2 und k = 1										
1	0,109686	0,000000	0,027240	0,203612	0,001200	0,092959	0,017217	0,000899	0,102894	0,203173	0,070159
2	0,074939	0,000000	0,135098	0,373967	0,076727	0,021399	0,004656	0,011723	0,311629	0,233618	0,115713
3	0,077386	0,160530	0,015029	0,000000	0,001184	0,048398	0,157673	0,076904	0,000068	0,007485	0,050571
4	0,039920	0,250497	0,078125	0,000000	0,036678	0,011080	0,152134	0,205282	0,002021	0,001139	0,072936
5	0,058450	0,003213	0,000000	0,006615	0,000766	0,007348	0,038925	0,000000	0,000000	0,043736	0,015070
6	0,055232	0,012150	0,000000	0,001054	0,004523	0,001453	0,046901	0,000000	0,000000	0,031209	0,014429
7	0,000000	0,009447	0,119754	0,019298	0,013672	0,004975	0,000000	0,077713	0,091644	0,000000	0,031546
8	0,000000	0,030593	0,098974	0,002826	0,001525	0,019546	0,000000	0,089620	0,050351	0,000000	0,027259
9	0,238441	0,019865	0,072059	0,210020	0,415133	0,000000	0,124623	0,006151	0,141433	0,258261	0,153248
10	0,092385	0,276005	0,232725	0,016888	0,445028	0,000000	0,192089	0,290209	0,108101	0,007750	0,169285
11	0,203297	0,017832	0,054825	0,158816	0,000000	0,376793	0,111210	0,005429	0,105915	0,210105	0,131718
12	0,076916	0,226910	0,194192	0,014252	0,000000	0,415860	0,158817	0,240600	0,091372	0,007302	0,148703
Summe	**1,026652**	**1,007040**	**1,028021**	**1,007347**	**0,996435**	**0,999812**	**1,004243**	**1,004529**	**1,005428**	**1,003778**	**1,000638**

Legende:
- l x-Index der Prüfrasterpunkte
- k y-Index der Prüfrasterpunkte
- s Nummer des Prüfelementes (s = 1 ... 11)
- j Nummer der Dreiecksfläche
- phi[s,j] numerisch ermittelte Einstrahlzahl des Prüfelementes (s = 1 ... 11) am Standort l, k auf die Fläche j

j -	phi[1,j] -	phi[2,j] -	phi[3,j] -	phi[4,j] -	phi[5,j] -	phi[6,j] -	phi[7,j] -	phi[8,j] -	phi[9,j] -	phi[10,j] -	phi[11,j] -
	Prüfrasterpunkt l = 1 und k = 1										
1	0,089544	0,000000	0,104890	0,412644	0,024899	0,103912	0,000000	0,009119	0,303949	0,290137	0,125309
2	0,006680	0,000000	0,083863	0,117204	0,046944	0,000999	0,000000	0,017343	0,139069	0,044615	0,042496
3	0,039980	0,265280	0,060952	0,000000	0,009956	0,051299	0,175962	0,203238	0,003227	0,000000	0,075821
4	0,002978	0,096120	0,064604	0,000000	0,023536	0,001134	0,033601	0,112742	0,010035	0,000000	0,032401
5	0,269063	0,032654	0,000000	0,080079	0,009379	0,088632	0,161394	0,000303	0,000000	0,228515	0,082013
6	0,222448	0,101715	0,000000	0,014651	0,058814	0,010191	0,222820	0,004791	0,000000	0,104218	0,069839
7	0,000000	0,001503	0,034104	0,002952	0,002071	0,000770	0,000000	0,023625	0,025694	0,000000	0,008870
8	0,000000	0,005636	0,032151	0,000449	0,000307	0,003225	0,000000	0,026923	0,019570	0,000000	0,008484
9	0,211666	0,195774	0,253822	0,212345	0,769108	0,000000	0,204062	0,212395	0,246287	0,193760	0,264378
10	0,002803	0,078734	0,079686	0,000476	0,054986	0,000000	0,026506	0,111099	0,026632	0,000000	0,035251
11	0,151952	0,142079	0,198365	0,158612	0,000000	0,665977	0,149340	0,160511	0,194638	0,138754	0,215828
12	0,002885	0,080506	0,087564	0,000589	0,000000	0,073861	0,026315	0,117911	0,030899	0,000000	0,039311
Summe	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**
	Prüfrasterpunkt l = 2 und k = 1										
1	0,106839	0,000000	0,026498	0,202127	0,001204	0,092977	0,017144	0,000895	0,102338	0,202408	0,070114
2	0,072994	0,000000	0,131416	0,371239	0,077001	0,021403	0,004636	0,011670	0,309946	0,232739	0,115640
3	0,075377	0,159407	0,014619	0,000000	0,001188	0,048407	0,157007	0,076557	0,000068	0,007457	0,050539
4	0,038884	0,248745	0,075995	0,000000	0,036809	0,011082	0,151491	0,204356	0,002010	0,001135	0,072890
5	0,056933	0,003191	0,000000	0,006567	0,000769	0,007349	0,038760	0,000000	0,000000	0,043572	0,015060
6	0,053798	0,012065	0,000000	0,001046	0,004540	0,001454	0,046703	0,000000	0,000000	0,031091	0,014420
7	0,000000	0,009381	0,116490	0,019157	0,013721	0,004976	0,000000	0,077363	0,091149	0,000000	0,031526
8	0,000000	0,030379	0,096276	0,002805	0,001530	0,019549	0,000000	0,089215	0,050079	0,000000	0,027242
9	0,232251	0,019726	0,070095	0,208488	0,416618	0,000000	0,124096	0,006123	0,140669	0,257289	0,153150
10	0,089986	0,274076	0,226381	0,016765	0,446620	0,000000	0,191277	0,288901	0,107517	0,007721	0,169178
11	0,198019	0,017707	0,053330	0,157657	0,000000	0,376864	0,110740	0,005404	0,105343	0,209314	0,131634
12	0,074919	0,225323	0,188899	0,014148	0,000000	0,415939	0,158146	0,239515	0,090879	0,007274	0,148608
Summe	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**	**1,000000**

Legende:
- l x-Index der Prüfrasterpunkte
- k y-Index der Prüfrasterpunkte
- s Nummer des Prüfelementes (s = 1 ... 11)
- j Nummer der Raumfläche
- phi[s,j] numerisch ermittelte Einstrahlzahl des Prüfelementes (s = 1 ... 11) am Standort l, k auf die Fläche j

Bild 8. Rechnerausdruck der kompensierten Elementeinstrahlzahlen $\varphi_{l,k,s,j}$ für beide Prüfrasterpunkte (Teilungsfaktor der Dreiecksseiten: $z_i = 10$).

Die genannten Daten stehen bereit, wenn im Vorfeld die Unterprogramme PRUEFEIN, PRUEFAUFBER und FLAEAUFBER abgearbeitet werden.

Output PHIELEM

$\varphi_{l,k,s,j}$	φELE[l, k, s, j]	–	numerisch ermittelte Einstrahlzahl der Flächenelemente (s = 1 ··· 10) und des kugelförmigen Elementes (s = 11) am Standort 1, k auf die Fläche j

Die Datenausgabe besorgt das Unterprogramm PHIELEMAUS (Phi-Elementausgabe). Ein Beispielausdruck ist im *Bild 7* gegeben.

In analoger Weise zu den Flächeneinstrahlzahl-Berechnungen werden auch bei den Elementeinstrahlzahlen infolge der Diskretisierungen der Raumoberflächen j Fehler auftreten. Die Folge wird sein, daß $\Sigma\varphi \neq 1$ gilt. Das beste Mittel die Fehler gering zu halten, bietet die Verfeinerung des Netzes. Um die vorgenannte Gleichung zwangsweise zu erfüllen und spätere Weiterrechnungen nicht mit aufgeprägten Abweichungen zu belasten, wird das Unterprogramm KOMPPHIELEM (Kompensation der Elementeinstrahlzahlen) nach *Bild 5* eingeschaltet.

Input KOMPPHIELEM

Diese Werte sind mit dem Output des Unterprogramms PHIELEM identisch.

Output KOMPPHIELEM

$\varphi_{l,k,s,j}$	φELE[l, k, s, j]	–	kompensierte Einstrahlzahl der Flächenelemente (s = 1 ··· 10) und des kugelförmigen Elementes (s = 11) am Standort l, k auf die Fläche j

Die Ausgabe wird wiederum durch PHIELEMAUS organisiert.

Beispiel Elementeinstrahlzahlen

Für den in ([1], *Bilder 6* bis *8*) geometrisch und datenmäßig abgebildeten Raum sind an zwei Punkten Untersuchungen zur thermischen Behaglichkeit vorzunehmen. Vorab müssen die Einstrahlzahlen bestimmt werden. Das Prüfraster ist auf eine Linie mit zwei Punkten reduziert, die Eingabedaten sind im *Bild 6* fixiert.

Die Abarbeitung von PHIELEM und PHIELEMAUS liefert das im *Bild 7* dargestellte Ergebnis. Die Summenbildung der Einstrahlzahlen liefert z. B.

$$\sum_{j=1}^{12} \varphi_{1,j} = 1{,}033851\,.$$

Das Ergebnis ist bedeutend besser als bei der Berechnung der Flächeneinstrahlzahlen [1], da zwischen dem Flä-

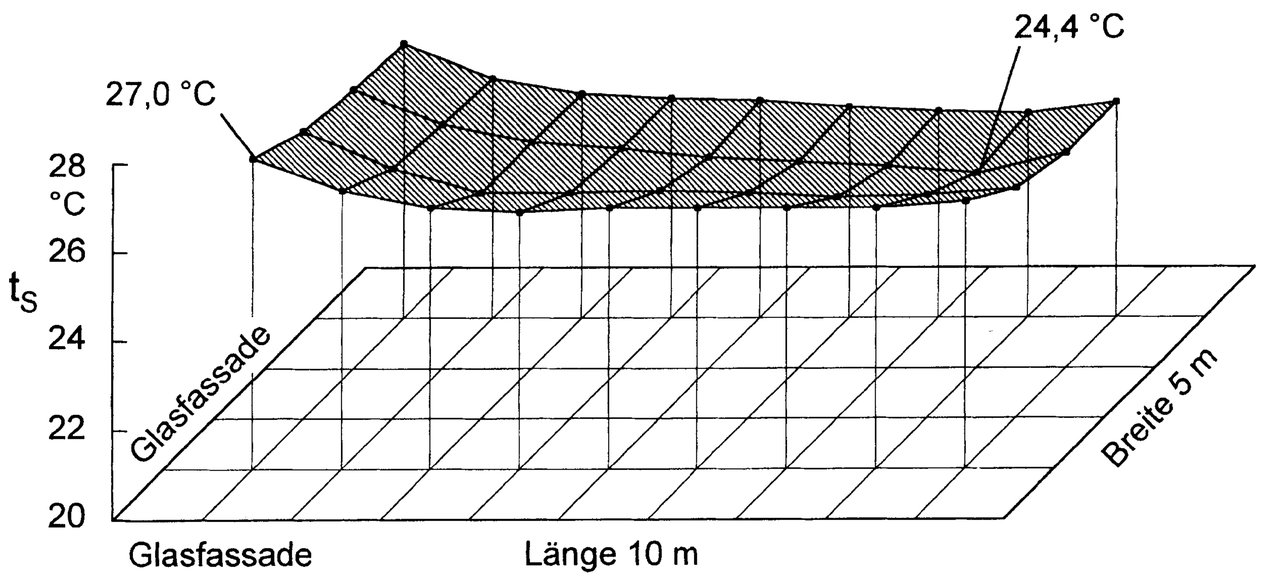

Bild 9. Verteilung der Strahlungstemperatur über dem Grundriß eines Raumes in einer Höhe von 1,3 m, dessen Oberflächentemperaturen mit einem 10-Zonen-Raummodell iterativ berechnet wurden.

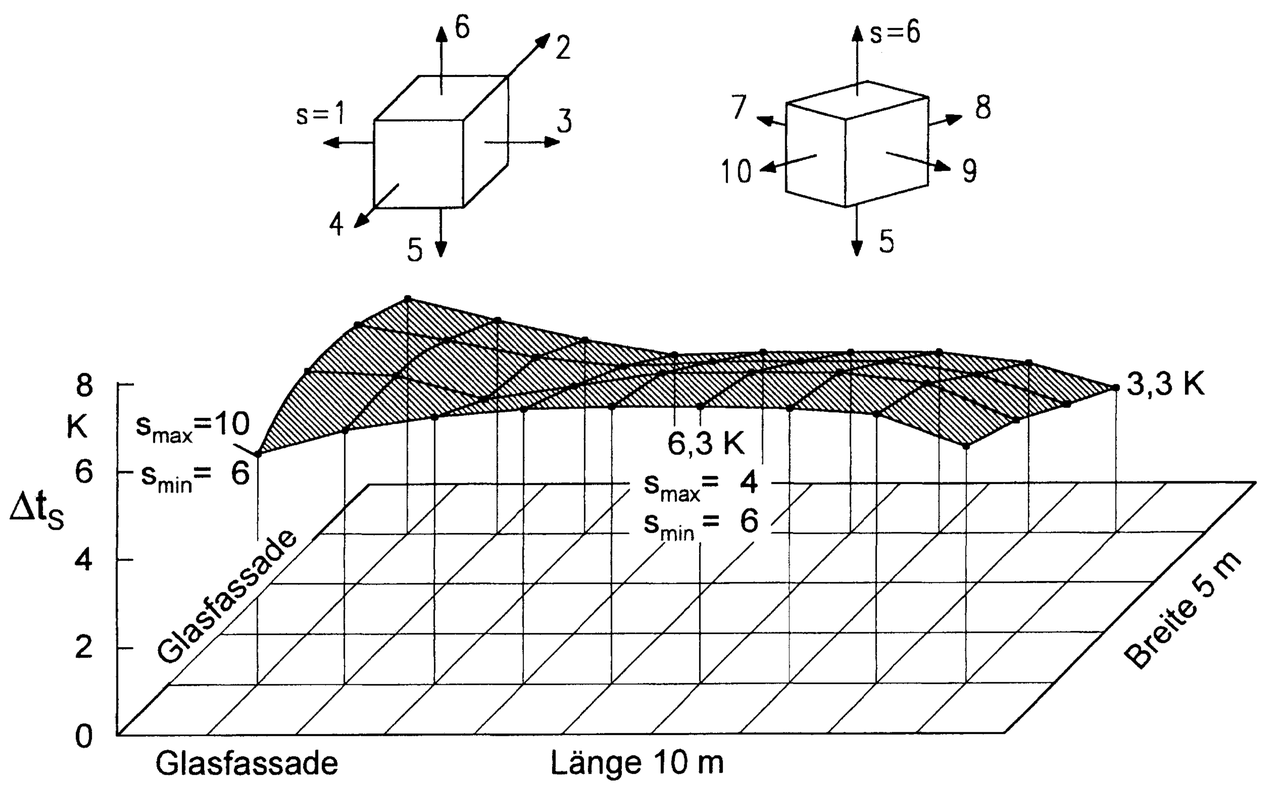

Bild 10. Verteilung der Strahlungstemperatur-Asymmetrie über dem Grundriß eines Raumes in einer Höhe von 1,3 m, dessen Oberflächentemperaturen mit einem 10-Zonen-Raummodell iterativ berechnet wurden. Die Würfelelementflächen s, die die jeweiligen Asymmetriewerte verursachen, sind in den Rechnerausdrucken und auszugsweise im *Bild* vermerkt.

chenelement und den Raumumfassungen die Abstände stets relativ groß sind.

Kompensiert man mit KOMPPHIELEM, so liefert ein erneuter Ausdruck die Werte des *Bildes 8*.

Ausblick

Weiterführende Betrachtungen bei kompletter Anwendung des Mehrzonen-Raummodells (zehn horizontale Zonen) ergeben beispielsweise für einen Raum mit zwei aneinandergrenzenden Glasfassaden und zahlreichen Interieurwärmequellen bei der gebäudetechnischen Ausstattung mit Kühldecke und Quellüftung (dreifacher Luftwechsel) im Ergebnis von zahlreichen Iterationsdurchläufen die Raumoberflächentemperaturen. Daraus ermitteln sich nach numerischer Berechnung der Elementeinstrahlzahlen die Verteilungen der Strahlungstemperatur und ihrer Asymmetrie (*Bilder 9* und *10*).

Literatur

[1] *Glück, B.:* Berechnung der Einstrahlzahlen in einem neuartigen Raummodell. Gesundheits-Ingenieur (Erscheinungsdatum noch nicht bekannt).

[2] *Glück, B.:* Empfindungstemperatur und ihre Meßbarkeit. Gesundheits-Ingenieur 114 (1993) H. 3, S. 134–142.

[3] *Glück, B.:* Bewertungsmaßstab zur optimalen Anordnung von Heiz- und Kühlflächen im Raum. Gesundheits-Ingenieur 113 (1991) H. 2, S. 65–71.

[4] *Glück, B.:* Zulässige Strahlungstemperatur-Asymmetrie. Gesundheits-Ingenieur 115 (1994) H. 6, S. 285–293.