Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 22

Artikel: Einige Anwendungsmöglichkeiten des Isocandeladiagrammes in der Aussenbeleuchtung

Autor: Vuyk, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916784

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 26.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Einige Anwendungsmöglichkeiten des Isocandeladiagrammes in der Aussenbeleuchtung [1])

Von *P. Vuyk*, Turgi

628.971

In der Beleuchtungstechnik sind verschiedene Methoden bekannt um die Lichtverteilung einer Lichtquelle wiederzugeben. Das Isocandeladiagramm ist eine dieser Methoden, die, obgleich deren Gebrauch viele Vorteile bietet, noch nicht allgemein verwendet wird. Eine kurze Beschreibung des Isocandeladiagrammes ist deshalb, als Einführung zu diesem Aufsatz, sicher zweckmässig.

Man denke sich eine Lichtquelle, die in der Mitte einer durchsichtigen Kugel angeordnet ist. Auf dieser Kugel ist ein Netz von Meridianen (Längenkreisen) und Parallelkreisen (Breitenkreisen) gezeichnet, wie das von der Geographie her bekannt ist. Man misst jetzt in einer grossen Menge verschiedenen Richtungen die Lichtstärke und schreibt die Werte bei dem zutreffenden Längen- und Breitengrad auf der Kugel an. Punkte gleicher Lichtstärke werden mit einer Kurve — Isocandelakurve — verbunden. Das so entstandene, kugelförmige Isocandeladiagramm muss, um praktisch verwendbar zu sein, auf eine ebene Fläche abgebildet werden. Die für Konstruktionszeichnungen übliche Darstellungsart (Parallelprojektion) ist dafür ungeeignet; die Kugelfläche wird zum Teil stark zusammengedrückt und daher ungenau wiedergegeben.

Dem Streben nach einer möglichst naturgetreuen Wiedergabe des kugelförmigen Isocandeladiagrammes auf eine ebene Fläche sind durch mathematische Gesetze Grenzen gesetzt. Eine Figur auf der Kugel kann entweder mit der gleichen Form — winkelgetreu — oder mit der gleichen (oder proportionalen) Fläche — flächengetreu — abgebildet [2]) werden, eine Vereinigung beider Forderungen ist nicht möglich. Mit Rücksicht auf den Zusammenhang zwischen Fläche und Raumwinkel zieht man eine flächengetreue Projektion vor.

In der Beleuchtungstechnik werden zwei Systeme verwendet; die sinusoidale und die azimutale Projektion. Figur 1a und 1b zeigen beide Projektionen. Bemerkenswert ist hiebei, dass nur eine halbe Kugel abgebildet wird. Es ist zwar möglich, die Projektionen bis auf eine ganze Kugel auszudehnen, was sich jedoch aus zwei Gründen nicht als zweckmässig erweist: Erstens hat nahezu jede Leuchte mindestens eine Symmetrie-Ebene, so dass eine halbe Kugel genügt; die andere Hälfte ist ja gleich. Zweitens werden die Verzerrungen auf der anderen Halbkugel sehr gross, und weil dies zu Ungenauigkeiten Anlass gibt, ist es, in den wenigen Fällen, wo eine ganze Kugel notwendig ist, besser, zwei Isocandeladiagramme zu verwenden.

32'923-927

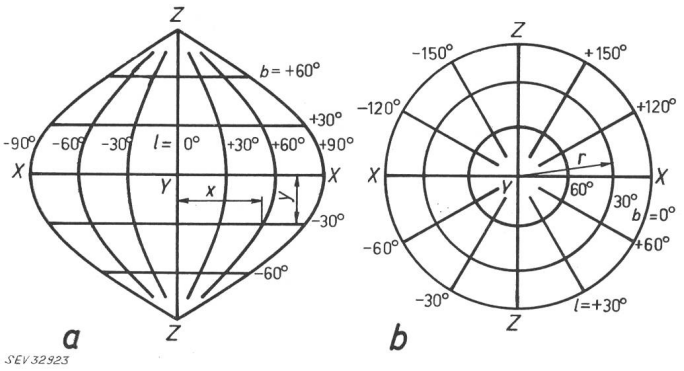

Fig. 1

Sinusoidale Projektion (*Z*-System) und azimutale Projektion (*Y*-System)

a sinusoidale Projektion

$$x = \frac{l}{360}\, 2\pi r_g \cos b$$

$$y = \frac{b}{360}\, 2\pi r_g$$

b azimutale Projektion

$$r = 2 r_g \sin \frac{90 - b}{2}$$

r_g Kugelradius

[1]) Siehe auch Bull. SEV 52(1961)15, S. 564...568.

[2]) Leider hat sich dafür das irreführende Wort «Projektion» eingebürgert.

1. Stellung der Polachse

Abhängig von der Lage der Pole — auf der *X*-, der *Y*- oder der *Z*-Achse — unterscheidet man das *X*-, das *Y*- und das *Z*-System. Diese Einteilung bezieht sich nur auf das Gradnetz. Die Isocandelakurven und die Form des Diagrammes werden nicht von der Lage der Pole beeinflusst. In Fig. 1 ist die sinusoidale Projektion im *Z*-System und die azimutale Projektion im *Y*-System gezeichnet. Dies sind die Grundformen der beiden Projektionen.

Von der azimutalen Projektion sind das *X*- und das *Z*-System in Fig. 2 dargestellt. Man sieht, dass die beiden Projektionen gleich sind, nur sind sie um 90° gegeneinander verdreht. Wegen der Symmetrie des azimutalen Diagrammes bleibt das Gradnetz unverändert, solange die Pole in der *X*-*Z*-Ebene liegen. Dies ist eine wichtige Eigenschaft der azimutalen Projektion, die bei der sinusoidalen fehlt.

Im allgemeinen wird man das azimutale Diagramm im *Y*-System vorfinden. Es können dann Isocandelakurven eingetragen werden, wenn die Lichtverteilung der Leuchte in der Form von Lichtstärkekurven in Ebenen gegeben ist, die

Radien der Parallelkreise des Y-Systemes [mm]. Azimutale Projektion. Kugelradius 50 mm

Tabelle I

$b°$	r_b	b	r_b	b	r_b
0	70,7	30	50,0	60	25,9
2	69,5	32	48,5	62	24,2
4	68,2	34	46,9	64	22,5
6	66,9	36	45,4	66	20,8
8	65,6	38	43,8	68	19,1
10	64,3	40	42,3	70	17,4
12	62,9	42	40,7	72	15,6
14	61,6	44	39,1	74	13,9
15	60,9	45	38,3	75	13,1
16	60,2	46	37,5	76	12,2
18	58,8	48	35,8	78	10,5
20	57,4	50	34,2	80	8,7
22	55,9	52	32,6	82	7,0
24	54,5	54	30,9	84	5,2
26	53,0	56	29,2	86	3,5
28	51,5	58	27,6	88	1,7
				90	0

Koordinaten der Meridiane und Parallelkreise des Z-Systemes [mm]. Azimutale Projektion. Kugelradius 50 mm

Tabelle II

b \ *l*	0°	10°	15°	20°	30°	40°	45°	50°	60°	70°	75°	80°	90°	
0°	0	8,7	13,1	17,4	25,9	34,2	38,3	42,3	50,0	57,4	60,9	64,3	70,7	*x*
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*y*
10°	0		12,9		25,6		37,8		49,4		60,0		69,6	*x*
	8,7		8,8		9,0		9,4		10,1		11,0		12,3	*y*
15°	0	8,5		16,9		33,3		41,1		55,6		62,2	68,3	*x*
	13,1	13,1		13,3		13,9		14,4		15,9		16,9	18,3	*y*
20°	0		12,5		24,7		36,4		47,5		57,6		66,4	*x*
	17,4		17,5		18,0		18,7		19,9		21,7		24,2	*y*
30°	0	7,8		15,6		30,5		37,6		50,5		56,2	61,2	*x*
	25,9	26,0		26,3		27,4		28,3		31,1		33,0	35,4	*y*
40°	0		10,6		21,0		30,8		39,9		47,8		54,2	*x*
	34,2		34,5		35,2		36,6		38,6		41,5		45,5	*y*
45°	0	6,7		13,3		25,9		31,8		42,2		46,5	50,0	*x*
	38,3	38,4		38,8		40,3		41,5		44,9		47,2	50,0	*y*
50°	0		9,2		18,2		26,7		34,2		40,7		45,5	*x*
	42,3		42,5		43,4		44,9		47,1		50,2		54,2	*y*
60°	0	5,0		10,0		19,3		23,6		30,7		33,4	35,4	*x*
	50,0	50,1		50,5		52,1		53,3		56,6		58,7	61,2	*y*
70°	0		5,4		10,6		15,3		19,4		22,4		24,2	*x*
	57,4		57,6		58,4		59,6		61,4		63,7		66,4	*y*
75°	0	2,8		5,6		10,7		13,0		16,5		17,6	18,3	*x*
	60,9	61,0		61,3		62,4		63,2		65,5		66,8	68,3	*y*
80°	0		2,9		5,7		8,2		10,2		11,6		12,3	*x*
	64,3		64,4		64,9		65,7		66,8		68,1		69,6	*y*
90°	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*x*
	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	70,7	*y*

Koordinaten des Rechteck-Netzes [mm]. Azimutale Projektion. Kugelradius 50 mm

Tabelle III

0 *h*	*x* = ±	0	17,1	34,9	50,5	61,2	68,5	70,7
	y = —	70,7	68,6	61,5	49,5	35,4	17,7	0
0,25 *h*	*x* = ±	0	15,4	31,7	46,7	57,8	66,5	70,7
	y = —	61,5	59,9	54,2	44,4	32,4	16,7	0
0,5 *h*	*x* = ±	0	14,3	29,6	44,1	55,4	64,9	70,7
	y = —	52,6	51,2	46,7	38,6	28,6	15,0	0
0,75 *h*	*x* = ±	0	13,6	28,3	42,4	53,7	63,8	70,7
	y = —	44,7	43,6	39,9	33,2	24,8	13,2	0
1 *h*	*x* = ±	0	13,2	27,4	41,3	52,6	63,1	70,7
	y = —	38,3	37,4	34,2	28,6	21,5	11,5	0
1,5 *h*	*x* = ±	0	12,7	26,6	40,1	51,5	62,3	70,7
	y = —	29,0	28,3	26,0	21,8	16,5	8,9	0
2 *h*	*x* = ±	0	12,5	26,1	39,6	50,9	61,9	70,7
	y = —	23,0	22,4	20,6	17,4	13,1	7,1	0
2,5 *h*	*x* = ±	0	12,4	25,9	39,3	50,6	61,7	70,7
	y = —	18,9	18,5	17,0	14,3	10,9	5,9	0
3 *h*	*x* = ±	0	12,4	25,8	39,1	50,4	61,6	70,7
	y = —	16,0	15,7	14,4	12,1	9,2	5,0	0
3,5 *h*	*x* = ±	0	12,3	25,7	39,0	50,3	61,5	70,7
	y = —	13,9	13,6	12,5	10,5	8,0	4,4	0
4 *h*	*x* = ±	0	12,3	25,7	39,0	50,3	61,4	70,7
	y = —	12,2	11,9	11,0	9,3	7,0	3,8	0
5 *h*	*x* = ±	0	12,3	25,6	38,9	50,2	61,4	70,7
	y = —	9,9	9,6	8,9	7,5	5,7	3,1	0
6 *h*	*x* = ±	0	12,2	25,6	38,8	50,1	61,3	70,7
	y = —	8,2	8,1	7,4	6,3	4,8	2,6	0
7 *h*	*x* = ±	0	12,2	25,6	38,8	50,1	61,3	70,7
	y = —	7,1	6,9	6,4	5,4	4,1	2,2	0

b *c*	0 *h*	0,25 *h*	0,5 *h*	0,75 *h*	1 *h*	1,5 *h*	2 *h*
	1	0,913	0,716	0,512	0,354	0,171	0,089 4
0 *h*	0	0,228	0,355	0,384	0,354	0,256	0,179
	—	90	90	90	90	90	90
	0,913	0,838	0,665	0,483	0,338	0,166	0,087 8
0,25 *h*	0,228	0,296	0,372	0,382	0,348	0,252	0,177
	0	45	63,4	71,6	76,0	80,5	82,9
	0,716	0,665	0,544	0,410	0,296	0,153	0,083 1
0,5 *h*	0,355	0,372	0,385	0,369	0,331	0,241	0,171
	0	26,6	45	56,3	63,4	71,6	76,0
	0,512	0,483	0,410	0,323	0,244	0,134	0,076 2
0,75 *h*	0,384	0,382	0,369	0,342	0,305	0,225	0,163
	0	18,4	33,7	45	53,1	63,4	69,4
	0,354	0,338	0,296	0,244	0,192	0,114	0,068 0
1 *h*	0,354	0,348	0,331	0,305	0,272	0,206	0,152
	0	14,0	26,6	36,9	45	56,3	63,4
	0,171	0,166	0,153	0,134	0,114	0,077 5	0,051 2
1,5 *h*	0,256	0,252	0,241	0,225	0,206	0,164	0,128
	0	9,5	18,4	26,6	33,7	45	53,1
	0,089 4	0,087 8	0,083 1	0,076 2	0,068 0	0,051 2	0,037 0
2 *h*	0,179	0,177	0,171	0,163	0,152	0,128	0,105
	0	7,1	14,0	20,6	26,6	36,9	45
	0,051 2	0,050 6	0,048 7	0,045 8	0,042 2	0,034 2	0,026 5
2,5 *h*	0,128	0,127	0,124	0,120	0,113	0,099 6	0,084 8
	0	5,7	11,3	16,7	21,8	31,0	38,7
	0,031 6	0,031 3	0,030 5	0,029 1	0,027 4	0,023 3	0,019 1
3 *h*	0,094 9	0,094 3	0,092 7	0,090 1	0,086 7	0,078 2	0,068 8
	0	4,8	9,5	14,0	18,4	26.6	33,7
	0,020 7	0,020 6	0,020 2	0,019 5	0,018 6	0,016 4	0,014 0
3,5 *h*	0,072 6	0,072 2	0.071 3	0,069 7	0,067 7	0,062 4	0,056 3
	0	4,1	8,1	12,1	15,9	23,2	29,7
	0,014 3	0,014 2	0,014 0	0,013 6	0,013 1	0,011 8	0,010 4
4 *h*	0,057 1	0,056 9	0,056 3	0,055 3	0,054 0	0,050 6	0,046 5
	0	3,6	7,1	10,6	14,0	20,6	26,6
	0,007 54	0,007 52	0,007 44	0,007 30	0,007 13	0,006 66	0,006 09
5 *h*	0,037 7	0,037 6	0,037 4	0,036 9	0,036 3	0,034 8	0,032 8
	0	2,9	5,7	8,5	11,3	16,7	21,8
	0,004 44	0,004 43	0,004 40	0,004 34	0,004 27	0,004 07	0,003 81
6 *h*	0,026 7	0,026 6	0,026 5	0,026 3	0,026 0	0,025 2	0,024 1
	0	2,4	4,8	7,1	9,5	14,0	18,4
	0,002 83	0,002 82	0,002 81	0,002 78	0,002 75	0,002 65	0,002 52
7 *h*	0,019 8	0,019 8	0,019 7	0,019 6	0,019 4	0,019 0	0,018 3
	0	2,0	4,1	6,1	8,1	12,1	15,9

sich in einer horizontalen Linie durch die Leuchte schneiden (Buchblattkurven) [1; 2] [3]). Stehen jedoch Lichtverteilungskurven zur Verfügung in Ebenen, die eine gemeinsame vertikale Linie haben, dann wird das *Z*-System nötig. Es ist deshalb bequem, ein transparentes Überlegeblatt zu haben, auf dem das *Z*-Gradnetz gezeichnet ist.

Zum Zeichnen der Gradnetze braucht man die Koordinaten der Längen- und Breitenkreise. Für das *Y*-System genügt es, wenn man die Radien der Breitenkreise kennt. Diese berechnet man nach der Formel:

$$r_b = 2\, r_g \sin \frac{90 - b}{2}$$

worin r_b den Radius des Kreises (in der azimutalen Projektion) für eine Breite von b° darstellt und r_g den Radius der abzubildenden Kugel.

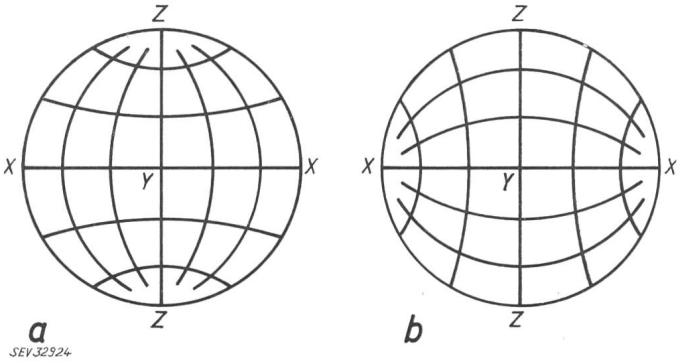

Fig. 2
Azimutale Projektion des *Z*-Systems (*a*) und des *X*-Systems (*b*)

[3]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Beleuchtungsstärke (Die Zahlen unter einander bedeuten: $\cos^3\alpha$; $\sin\alpha\cos^2\alpha$ und δ)

Tabelle IV

b / *c*	2,5 *h*	3 *h*	3,5 *h*	4 *h*	5 *h*	6 *h*	7 *h*
0 *h*	0,051 2 0,128 90	0,031 6 0,094 9 90	0,020 7 0,072 6 90	0,014 3 0,057 1 90	0,007 54 0,037 7 90	0,004 44 0,026 7 90	0,002 83 0,019 8 90
0,25 *h*	0,050 6 0,127 84,3	0,031 3 0,094 3 85,2	0,020 6 0,072 2 85,9	0,014 2 0,056 9 86,4	0,007 52 0,037 6 87,1	0,004 43 0,026 6 87,6	0,002 82 0,019 8 88,0
0,5 *h*	0,048 7 0,124 78,7	0,030 5 0,092 7 80,5	0,020 2 0,071 3 81,9	0,014 0 0,056 3 82,9	0,007 44 0,037 4 84,3	0,004 40 0,026 5 85,2	0,002 81 0,019 7 85,9
0,75 *h*	0,045 8 0,120 73,3	0,029 1 0,090 1 76,0	0,019 5 0,069 7 77,9	0,013 6 0,055 3 79,4	0,007 30 0,036 9 81,5	0,004 34 0,026 3 82,9	0,002 78 0,019 6 83,9
1 *h*	0,042 2 0,113 68,2	0,027 4 0,086 7 71,6	0,018 6 0,067 7 74,1	0,013 1 0,054 0 76,0	0,007 13 0,036 3 78,7	0,004 27 0,026 0 80,5	0,002 75 0,019 4 81,9
1,5 *h*	0,034 2 0,099 6 59,0	0,023 3 0,078 2 63,4	0,016 4 0,062 4 66,8	0,011 8 0,050 6 69,4	0,006 66 0,034 8 73,3	0,004 07 0,025 2 76,0	0,002 65 0,019 0 77,9
2 *h*	0,026 5 0,084 8 51,3	0,019 1 0,068 8 56,3	0,014 0 0,056 3 60,3	0,010 4 0,046 5 63,4	0,006 09 0,032 8 68,2	0,003 81 0,024 1 71,6	0,002 52 0,018 3 74,1
2,5 *h*	0,020 2 0,071 3 45	0,015 3 0,059 6 50,2	0,011 6 0,049 9 54,5	0,008 92 0,042 1 58,0	0,005 46 0,030 5 63,4	0,003 52 0,022 9 67,4	0,002 37 0,017 6 70,3
3 *h*	0,015 3 0,059 6 39,8	0,012 1 0,051 2 45	0,009 53 0,043 9 49,4	0,007 54 0,037 7 53,1	0,004 83 0,028 2 59,0	0,003 21 0,021 5 63,4	0,002 21 0,016 8 66,8
3,5 *h*	0,011 6 0,049 9 35,5	0,009 53 0,043 9 40,6	0,007 77 0,038 4 45	0,006 32 0,033 6 48,8	0,004 23 0,025 8 55,0	0,002 89 0,020 1 59,7	0,002 04 0,015 9 63,4
4 *h*	0,008 92 0,042 1 32,0	0,007 54 0,037 7 36,9	0,006 32 0,033 6 41,2	0,005 28 0,029 8 45	0,003 67 0,023 5 51,3	0,002 59 0,018 7 56,3	0,001 87 0,015 0 60,3
5 *h*	0,005 46 0,030 5 26,6	0,004 83 0,028 2 31,0	0,004 23 0,025 8 35,0	0,003 67 0,023 5 38,7	0,002 75 0,019 4 45	0,002 05 0,016 0 50,2	0,001 54 0,013 2 54,5
6 *h*	0,003 52 0,022 9 22,6	0,003 21 0,021 5 26,6	0,002 89 0,020 1 30,3	0,002 59 0,018 7 33,7	0,002 05 0,016 0 39,8	0,001 60 0,013 6 45	0,001 25 0,011 6 49,4
7 *h*	0,002 37 0,017 6 19,7	0,002 21 0,016 8 23,2	0,002 04 0,015 9 26,6	0,001 87 0,015 0 29,7	0,001 54 0,013 2 35,5	0,001 25 0,011 6 40,6	0,001 02 0,010 0 45

Vom Z-Gradnetz berechnet man kartesische Koordinaten einer Anzahl Punkte, die man nachher mit Kurven verbindet. Da das Diagramm zur x- und y-Achse symmetrisch ist (sofern man den Mittelpunkt des kreisförmigen Diagrammes mit dem Ursprung des Achsenkreuzes zusammenfallen lässt) braucht man die Berechnungen nur für einen Quadranten auszuführen. Man bedient sich hiebei folgender Beziehungen:

$$x = r_g \frac{\sin l \cos b}{\sqrt{1 + \cos l \cos b}} \sqrt{2}$$

$$y = r_g \frac{\sin b}{\sqrt{1 + \cos l \cos b}} \sqrt{2}$$

Darin bedeuten l und b die Länge und Breite. Für die Ableitung dieser Formeln sei auf die Literatur [1] verwiesen.

In den Tabellen I und II sind die Koordinaten für einen Kugelradius von 50 mm ausgerechnet.

2. Beleuchtungsstärke-Berechnungen

Die Lichtverteilungskurven dienen dem Lichttechniker als Ausgangspunkt seiner Beleuchtungsstärke-Berechnungen. Die Art, in welcher die Punkte, deren Beleuchtungsstärke man berechnet, über die Messebene verteilt sind, hängt von der Methode ab, nach welcher die Lichtverteilungskurven gemessen worden sind. Die üblichen Verfahren haben den Nachteil, dass die Verteilung der Messpunkte unregelmässig

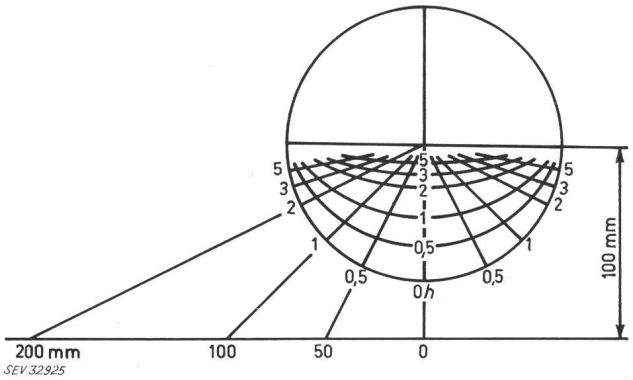

Fig. 3
Rechteck-Netz
Die geraden Linien können mittels der Tangenten der Winkel konstruiert werden

ist. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass die Beleuchtungsstärke für runde Winkelwerte berechnet wird.

Um ein regelmässiges, rechteckiges Muster zu bekommen, müssen Berechnungen durchgeführt werden für Winkel, deren zugehörige Lichtstärke nicht den Lichtverteilungskurven entnommen werden können. Wenn man jedoch vom Isocandeladiagramm ausgeht, kann man sich eines Überlegeblattes bedienen, auf welchem diese Winkel als Schnittpunkte von Linien markiert sind [3]. Dieses Blatt soll im Folgenden mit «Rechteck-Netz» bezeichnet werden. Damit man bei jeder Berechnung die gleichen Winkel bekommt, werden die Abstände in der Längs- und in der Querrichtung z. B. einer Strasse als Verhältnisse zur Höhe angegeben.

Bevor man das Rechteck-Netz auf die Kugelprojektion zeichnet, muss man sich fragen, wie die halbe Kugel in Bezug auf die Strasse angeordnet ist. Im Zusammenhang mit dem bereits Gesagten bezüglich der Symmetrie der Leuchten ist es naheliegend, die Kugel so anzuordnen, dass die Schnittebene, die die Kugel halbiert, senkrecht zur Strassen-Längsachse steht. Mit anderen Worten, beim Y-System verläuft die Polachse parallel zu dieser Längsachse.

Es leuchtet ein, dass man die Linien, welche die Strasse in der Breite unterteilen, im Rechteck-Netz wiederfindet als Meridiane des Y-Systems für die Winkel arctg 0; arctg 0,25; arctg 0,5 usw. Diese sind also, wenigstens in der Azimutalprojektion, leicht zu konstruieren (Fig. 3). Die anderen Linien sind Meridiane des X-Systems, und zwar für die gleichen Winkel. Zu deren Berechnung können die erwähnten Formeln verwendet werden [4]). In Tabelle III sind die Ergebnisse dieser Berechnungen aufgeführt.

In der Gleichung für die horizontale Beleuchtungsstärke,

$$E_h = I_\alpha \frac{\cos^3 \alpha}{h^2}$$

sind jetzt die Lichtpunkthöhe h und die Lichtstärke I bekannt. Diese können, indem man das Rechteck-Netz über das Isocandeladiagramm legt, bei den zutreffenden Abständen in Längs- und Querrichtung abgelesen werden. Der gefundene Wert muss noch mit $0{,}001\,\Phi$ multipliziert werden, falls die Lichtstärke-Angaben im Diagramm für einen Lichtstrom Φ von 1000 lm gelten.

[4]) Da diese Formeln sich auf das Z-System beziehen, müssen x und y vertauscht werden. Zudem soll man berücksichtigen, dass 0^0 in diesen Formeln die Mittellinie darstellt.

Die Neigung kann auf einfache Weise berücksichtigt werden, indem man das Rechteck-Netz und das Isocandeladiagramm gegeneinander dreht, bis die 0 h-Linie des Rechteck-Netzes und der 0°-Meridian des Isocandeladiagrammes einen Winkel einschliessen, der ebenso gross ist wie der Neigungswinkel. Diese Möglichkeit ist nur bei der Azimutalprojektion gegeben, wegen ihrer symmetrischen Form; bedient man sich der sinusoidalen Projektion, dann muss man über ein Diagramm verfügen, das in der Gebrauchslage der Leuchte gemessen wurde.

Da die Abstände als Vielfaches von h gewählt wurden, kann man $\cos^3 \alpha$ vorher berechnen. An Hand von Fig. 4 sollen die dazu nötigen Formeln abgeleitet werden:

Die Winkel β und γ sind bestimmt durch:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{b}{h} \qquad \text{und } \operatorname{tg} \gamma = \frac{c}{h}$$

Da der Abstand a vom Fusspunkt des Lotes von der Lichtquelle zum Messpunkt P gegeben ist mit der Beziehung:

$$a^2 = b^2 + c^2$$

und der Winkel α mit:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{h}$$

ergibt sich dass:

$$\operatorname{tg}^2 \alpha = \operatorname{tg}^2 \beta + \operatorname{tg}^2 \gamma$$

Der gesuchte Wert, $\cos^3 \alpha$, kann jetzt ermittelt werden aus:

$$\cos^2 \alpha = \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}$$

In Tabelle IV ist $\cos^3 \alpha$ die obere Zahl jeder Dreiergruppe.

Die zweite Zahl, $\sin \alpha \cos^2 \alpha$, wird benötigt zur Berechnung der vertikalen Beleuchtungsstärke E_v:

$$E_v = I_\alpha \frac{\sin \alpha \cos^2 \alpha}{h^2}$$

In dieser Formel ist E_v die grösste vertikale Beleuchtungsstärke im Punkt P, und zwar auf einer Ebene, die senkrecht steht zur Linie a in Fig. 4. Diese Ebene ist in der Figur mittels einer ausgezogenen Linie (die Schnittlinie mit der horizontalen Ebene) angedeutet. Hat die Ebene eine andere Stellung, dann ergibt sich die vertikale Beleuchtungsstärke aus der Multiplikation der aus obiger Formel berechneten E_v mit dem Cosinus des Winkels zwischen der Normalen auf der betrachteten Ebene und der Linie a. Dieser Winkel ist leicht zu bestimmen, wenn der Winkel δ zwischen a und der Querachse der Strasse bekannt ist. In Tabelle IV ist δ (die dritte Zahl) in Grad und Zehntelgrad angegeben.

Die vertikalen Beleuchtungsstärken, die am meisten interessieren, sind diejenigen auf Ebenen parallel zur Längs- und Querachse der Strasse. Zur Ermittlung der Erstgenannten (parallel zu c) soll E_v mit $\cos \delta$ multipliziert werden, die zweite (parallel zu b) wird aus Multiplikation mit $\cos (90 - \delta)$, also mit $\sin \delta$ gefunden. Der Sinus und Cosinus der in Tabelle IV vorkommenden Winkel sind in Tabelle V zusammengestellt. Hat man bereits die horizontale Beleuchtungsstärke berechnet, dann findet man die vertikale Beleuch-

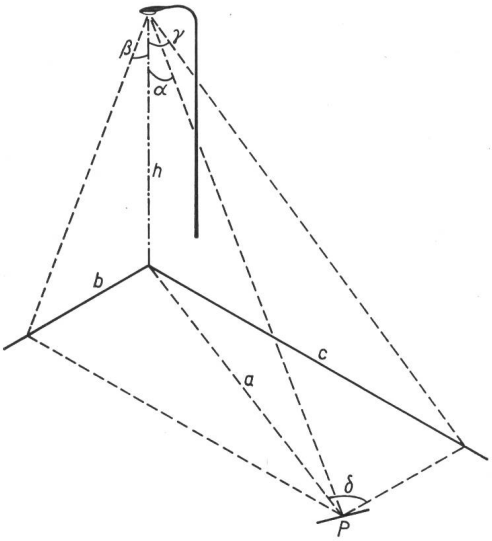

Fig. 4
Angaben zur Ermittlung des Winkels α

tungsstärke parallel zu b, aus der Multiplikation von E_h mit c/h bequemer.

Der aufmerksame Leser wird sehen, dass manche Werte der Tabelle V von jenen der goniometrischen Tafeln abweichen. Tabelle V gibt zum Beispiel für sin 2,0° = 0,0357 an, während man einer goniometrischen Tafel die Zahl 0,03490 entnehmen kann. Die Ursache dieses Unterschiedes liegt darin, dass der Sinus und Cosinus für die exakten Werte — hier für arctg $\frac{0{,}25}{7}$, dieser Winkel liegt zwischen 2°2′ und 2°3′ — berechnet sind, während die Angabe des Winkels auf Zehntelgrade gerundet ist. Die Sinus- und Cosinuswerte aus Tabelle V können also ohne Bedenken in Zusammenhang mit Tabelle IV verwendet werden.

Die Werte in Tabelle IV sind nur für einen Quadranten angegeben, weil alle vier Quadranten in Bezug auf die Daten dieser Tabelle gleich sind. Dass dies sich nicht notwendigerweise auch auf die Lichtstärke bezieht, wird klar sein.

Mancher Fachmann wird diesem Verfahren entgegenstellen, dass die Lichtstärke im Isocandeladiagramm geschätzt werden muss, weil der Punkt, bei welchem abgelesen wird, nahezu immer zwischen zwei Isocandelakurven liegt. Die anderen erwähnten Verfahren ermöglichen es, die Lichtstärke bei jedem beliebigen Winkel (in einer gegebenen Ebene) abzulesen. Da jedoch für lichttechnische Berechnungen keine allzu grosse Genauigkeiten erforderlich sind, wird das beschriebene Verfahren den gestellten Anforderungen sicher entsprechen. Natürlich hängt vieles von der Sorgfalt ab, die beim Herstellen des Diagrammes angewendet wird. Ausserdem sollte man sich überlegen, dass das Endziel der Bemühungen nicht das Isoluxdiagramm der einzelnen Leuchte ist, sondern das Isoluxdiagramm einer Anlage [5]). Im ganzen Berechnungsvorgang verursacht das Überlagern der Isoluxkurven die grösste Ungenauigkeit. In dieser Hinsicht ist die Berechnung mittels des Isocandeladiagrammes wegen der günstigen Verteilung der Messpunkte im Vorteil. In gewissen Fällen kann der Lichtpunktabstand so gewählt werden, dass die Messpunkte der verschiedenen Leuchten zusammenfallen. Das Überlagern der Isoluxkurven wird dann umgangen.

[5]) In diesem Zusammenhang sei noch darauf hingewiesen, dass die Kombination von Isocandeladiagramm und Rechteck-Netz sich in nächster Zukunft auch für Leuchtdichte-Berechnungen als wertvoll erweisen dürfte.

Hilfstabelle für die Berechnung der vertikalen Beleuchtungsstärke parallel zu c und parallel zu b

Tabelle V

δ°	sin δ	cos δ	δ	sin δ	cos δ	δ	sin δ	cos δ
0	0	1	26,6	0,447	0,894	60,3	0,868	0,496
2,0	0,035 7	0,999	29,7	0,496	0,868	63,4	0,894	0,447
2,4	0,041 6	0,999	30,3	0,504	0,864	66,8	0,919	0,394
2,9	0,049 9	0,999	31,0	0,514	0,858	67,4	0,923	0,385
3,6	0,062 4	0,998	32,0	0,530	0,848	68,2	0,928	0,371
4,1	0,071 2	0,997	33,7	0,555	0,832	69,4	0,936	0,351
4,8	0,083 5	0,997	35,0	0,573	0,819	70,3	0,942	0,336
5,7	0,099 5	0,995	35,5	0,581	0,814	71,6	0,949	0,316
6,1	0,107	0,994	36,9	0,600	0,800	73,3	0,958	0,287
7,1	0,124	0,992	38,7	0,625	0,781	74,1	0,962	0,275
8,1	0,141	0,990	39,8	0,640	0,768	76,0	0,970	0,243
8,5	0,148	0,989	40,6	0,651	0,759	77,9	0,978	0,210
9,5	0,164	0,986	41,2	0,659	0,753	78,7	0,981	0,196
10,6	0,184	0,983	45	0,707	0,707	79,4	0,983	0,184
11,3	0,196	0,981	48,8	0,753	0,659	80,5	0,986	0,164
12,1	0,210	0,978	49,4	0,759	0,651	81,5	0,989	0,148
14,0	0,243	0,970	50,2	0,768	0,640	81,9	0,990	0,141
15,9	0,275	0,962	51,3	0,781	0,625	82,9	0,992	0,124
16,7	0,287	0,958	53,1	0,800	0,600	83,9	0,994	0,107
18,4	0,316	0,949	54,5	0,814	0,581	84,3	0,995	0,099 5
19,7	0,336	0,942	55,0	0,819	0,573	85,2	0,997	0,083 5
20,6	0,351	0,936	56,3	0,832	0,555	85,9	0,997	0,071 2
21,8	0,371	0,928	58,0	0,848	0,530	86,4	0,998	0,062 4
22,6	0,385	0,923	59,0	0,858	0,514	87,1	0,999	0,049 9
23,2	0,394	0,919	59,7	0,864	0,504	87,6	0,999	0,041 6
						88,0	0,999	0,035 7
						90	1	0

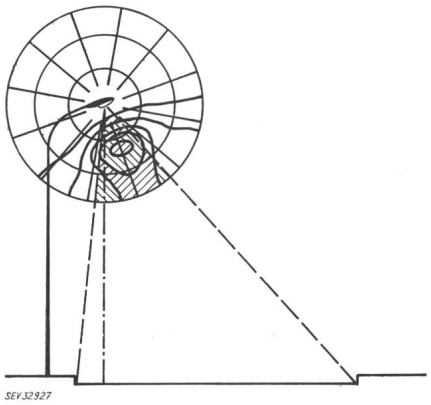

Fig. 5
Bestimmung des Nutzlichtstromes

3. Lichtstrom-Berechnungen

Wie bekannt, ist ein Raumwinkel durch die Fläche A, die er aus einer Kugeloberfläche schneidet und den Radius r_g der Kugel bestimmt:

$$\omega = \frac{A}{r_g^2}$$

Der Raumwinkel, der von zwei aufeinander folgenden Isocandelakurven begrenzt wird, kann also, da man eine flächentreue Kugelprojektion verwendet, gefunden werden, indem man die Fläche zwischen diesen Kurven mit einem Planimeter misst und durch das Quadrat des Radius der projizierten Kugel dividiert. Zur Bestimmung des Lichtstromes, den die Leuchte in diesen Raumwinkel ausstrahlt, wird das Mittel der zu den Isocandelakurven gehörigen Lichtstärken mit dem soeben gefundenen Raumwinkel multipliziert:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi}{1000}\,\Delta\omega$$

Man kann auf diese Art den Gesamtlichtstrom einer Leuchte bestimmen. Von mehr Interesse ist jedoch der Lichtstrom, der von der Leuchte auf eine Fahrbahn geworfen wird. Nimmt man an, dass eine Strasse unendlich lang ist, dann wird nur das Licht, das innerhalb eines bestimmten Raumwinkels ausgestrahlt wird, zur Beleuchtung der Fahrbahn beitragen. Dieser Raumwinkel liegt zwischen zwei Ebenen, die durch den linken, bzw. den rechten Strassenrand und durch die Lichtquelle gehen (Fig. 5). Zur Bestimmung des Nutzlichtstromes werden die schraffierten Flächen in Fig. 5 planimetriert und mit den zugehörigen mittleren Lichtstärken multipliziert. Die Summe dieser Produkte gibt:

$$\Phi_n = 2\,\frac{\Phi}{1000}\cdot\frac{1}{r_g^2}\,\Sigma\, I\cdot\Delta A$$

Ist Φ_n einmal bekannt, dann ist es leicht, die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke zu bestimmen, und zwar durch dividieren von Φ_n durch das Produkt aus Strassenbreite und Lichtpunktabstand.

Wenn man den Nutzlichtstrom für einige verschiedene Strassenbreiten berechnet hat, kann man die Beziehung zwischen Φ_n und b/h graphisch darstellen. Man schafft sich damit ein Hilfsmittel, das eine leichte und schnelle Bestimmung der mittleren Beleuchtungsstärke gestattet. Da dieses Hilfsmittel anderswo [4; 5] ausführlich behandelt wird, darf an dieser Stelle auf weitere Erklärungen verzichtet werden.

4. Grösse des Diagrammes

Die Verwendung des Isocandeladiagrammes zusammen mit Überlegeblättern fordert die Festlegung einer Normgrösse für das Diagramm. Bei dessen Wahl darf man nicht vergessen, dass die Genauigkeit der Berechnungen nur bis zu einer gewissen Grenze mit der Grösse zunimmt. Ein Grund hiefür liegt darin, dass grosse Flächen ziemlich schwierig zu planimetrieren sind. Ausserdem ist es oft unangenehm, ein Diagramm verwenden zu müssen, das bereits gefaltet ist. Man wird daher den praktischen Wunsch äussern, die Grösse des Diagrammes auf ein A4-Blatt abzustimmen.

In Zusammenhang mit den Lichtstrom-Berechnungen ist es vorzuziehen, dass nicht der Radius des Diagrammes, sondern der Radius der Kugel eine runde Zahl (und/oder eine Normzahl) ist.

Diese Erwägungen haben zu einem Kugelradius von 50 mm geführt (R-10 Reihe). Der Durchmesser des Diagrammes wird dann 141,4 mm, so dass genügend Platz für Beschriftung usw. übrig bleibt.

Es kann kaum oft genug auf die Notwendigkeit hingewiesen werden, die Stellung der Leuchte bezüglich der Kugelachsen deutlich anzugeben. Am besten geschieht dies mittels einer entsprechenden Skizze, die in einer Ecke des Formulars aufgezeichnet ist. Eine Abbildung der Leuchte im Diagramm selber, wie in Fig. 5 ersichtlich, ist weniger empfehlenswert, weil dafür meistens Isocandelakurven unterbrochen werden müssen. Es ist auch nützlich, den Kugelradius im Diagramm zusätzlich anzugeben.

5. Zusammenfassung

Im vorliegenden Aufsatz werden die wichtigsten Anwendungen des Isocandeladiagrammes behandelt. Es wird näher eingegangen auf ein Verfahren, mit welchem die Beleuchtungsstärken berechnet werden können in Punkten, die ein regelmässiges Muster auf der beleuchteten Fläche bilden. Obschon das Verfahren hauptsächlich für asymmetrische Lichtverteilungen gedacht ist, eignet es sich auch für (rotations-)symmetrisch strahlende Lichtfluter, die zum Beispiel für die Beleuchtung von Sportplätzen verwendet werden.

Wegen der vorteilhaften Eigenschaften der azimutalen Projektion, im Vergleich zur sinusoidalen (1. die Meridiane des Y-Systems sind gerade Linien; 2. die Neigung der Leuchte kann auf einfache Weise berücksichtigt werden; 3. die Verzerrung ist viel kleiner) wurden die Koordinatentabellen nur für die azimutale Projektion angegeben.

Literatur

[1] *H. A. E. Keitz:* Lichtberechnungen und Lichtmessungen. Philips' technische Bibliothek.

[2] *Joh. Jansen:* Beleuchtungstechnik. Band 3, Philips' technische Bibliothek.

[3] *M. Herzig:* Das Isocandeladiagramm und seine Anwendung in der Strassenbeleuchtungstechnik. Bull. SEV 1961, Nr. 15.

[4] *K. F. Stubert:* Berechnung der mittleren Beleuchtungsstärke bei Strassenbeleuchtungsanlagen. Lichttechnik 1960, Nr. 2.

[5] *H. Ohnemus:* Die Berechnung mittlerer Beleuchtungsstärken bei queraufgehängten Leuchtstofflampenleuchten aus ihrer Haupt-Lichtverteilungskurve. Lichttechnik 1962, Nr. 6.

Adresse des Autors:
P. Vuyk, B. A. G. Bronzewarenfabrik AG, 5300 Turgi.