



Evaluatie praktijkmetingen luchtdoorlatendheid van gevels

Rijksgebouwendienst
Afdeling Bouwfysica
Postbus 20952
2500 EZ 's-Gravenhage
Tel.: 070 - 614221

0. Inleiding

Met ingang van 4 december 1980 worden door de Rijksgebouwendienst eisen gesteld aan de luchtdoorlatendheid van gevels. Op grond van de eerste eigen praktijkgegevens en de van de zijde van andere (particuliere) keuringsinstituten verkregen informatie zijn de destijds geformuleerde eisen herzien. De huidige eisen zijn vastgelegd in rapport 262.10/L d.d. 29 februari 1984 van de Afdeling Bouwfysica. De hieraan ten grondslag liggen overwegingen zijn beschreven in het daaraan voorafgaande rapport 262.09/L. Om gerealiseerde bouwprojecten aan de eisen te toetsen is een beproevingsmethode ontwikkeld. Op basis van ervaringen heeft de oorspronkelijke opzet zich in de loop van de tijd enigszins gewijzigd en is de te gebruiken apparatuur verbeterd. De huidige meetprocedure die door de Afdeling Bouwfysica wordt gevolgd, is beschreven in rapport 262.17/S/Ad d.d. 17 januari 1986. In dit rapport wordt eveneens een standaardopzet voor het meetrapport gegeven en een daaraan toe te voegen samenvatting van de meetresultaten. Deze samenvatting is gewenst in verband met een periodieke evaluatie van luchtdoorlatendheden van gevels in praktijk.

Inmiddels zijn in de periode van 1980 tot en met 1985 in dertig gebouwen ruim vijftig luchtdoorlatendheidsmetingen uitgevoerd. In dit rapport worden de resultaten van deze metingen aan de hand van de bovengenoemde samenvattingen geevalueerd. Zowel de kwaliteit van de onderzochte gevels als de huidige eisen van de Afdeling Bouwfysica worden daarbij beschouwd.

1. Huidige eisen

Door de Afdeling Bouwfysica worden zowel eisen gesteld aan de luchtdoorlatendheid van de gevel als geheel als aan de gemiddelde luchtdoorlatendheid van de kieren en de naden afzonderlijk. Nadrukkelijk wordt gesteld dat de eis die geformuleerd is voor de luchtdoorlatendheid van de gevel als geheel maatgevend is. De aan naden en kieren gestelde eisen dienen gebruikt te worden bij het ontwerp en als specificatie van kwaliteitseisen bij opdrachten aan afzonderlijke onderaannemers, zoals ramenleveranciers. Hetzelfde geldt voor de eisen die gesteld worden aan de luchtdoorlatendheid van ventilatieroosters in gesloten stand.

Onder kier en naad wordt hier verstaan:

- kier: de ruimte tussen delen, die bedoeld zijn om ten opzichte van elkaar te kunnen bewegen, zoals bij draaiende delen in ramen.
- naad: de ruimte tussen delen die niet bedoeld zijn om ten opzichte van elkaar te kunnen bewegen, anders dan door thermische lengteveranderingen, zettingen, kruip, krimp, etc.

Voor het opstellen van de eisen is aansluiting gezocht bij de Nedelandse normen NEN 3660/3661. Dat houdt in dat als aanvaardbaar wordt beschouwd:

"de situatie, waarbij ten hoogste gedurende één aaneengesloten uur per jaar door naden en kieren een hoeveelheid lucht naar binnen komt, die gelijk is aan of groter dan de gewenste hoeveelheid lucht benodigd voor ventilatie".

In de afleiding van de eis voor de gevel als geheel is uitgegaan van een standaardkantoorgebouw, waarbij in geval van éénpersoonkamers sprake is van een gemiddeld buitenoppervlak van $8,4 \text{ m}^2$ en in geval van meerpersoonkamer het buitenoppervlak per persoon varieert van $4,0$ tot $4,7 \text{ m}^2$. Bij een minimum ventilatiehoeveelheid van $9,7 \text{ l/s}$ persoon (= $35 \text{ m}^3/\text{h}$ per persoon) uit oogpunt van geurhinder, wordt een benodigde ventilatie gevonden variërend van $1,2$ tot $2,4 \text{ l/(s.m}^2\text{)}$. Deze hoeveelheden staan volgens het uitgangspunt van de NEN 3661 model voor de bij de toetsingsdruk toelaatbare infiltratie. Echter, om één eenduidig eis aan de gevel te stellen wordt een toelaatbare hoeveelheid van $1,8 \text{ l/s.m}^2$ aangehouden. Een nadere onderbouwing hiervan wordt gegeven in rapport 262.09/L d.d. 29 februari 1984.

De bovengenoemde eis is van toepassing op gevels met te openen ramen. Voor geheel gesloten gevels wordt een maximum doorlaat van $0,5 \text{ l/(s.m}^2\text{)}$ bij toetsingsdruk in praktijk reëel geacht en derhalve als eis gehanteerd.

De eisen, die door de Afdeling Bouwfysica aan naden en kieren afzonderlijk worden gesteld, wijken in zoverre af van de NEN 3661 dat de voor de maximaal toelaatbare doorgelaten luchthoeveelheden via naden en kieren bij toetsingsdruk de getalwaarden uit tabel 1 dienen te worden gehanteerd. Bij het formuleren van deze eisen (rapport 262.09/L) zijn de volgende uitgangspunten gekozen: de aan naden en kieren afzonderlijk te stellen eisen moeten zodanig zijn, dat als hieraan wordt voldaan, ook aan de eis voor de gevel als geheel wordt voldaan.

Indien voor naden de in de NEN 3661 genoemde waarde voor de toelaatbare luchtdoorlatendheid bij toetsingsdruk van $0,05 \text{ l}/(\text{s.m}^1)$ wordt aangehouden volgt bij een gemiddelde van 6 m^1 naad per m^2 buitengevel een luchtdoorlatendheid van de gezamenlijke naden van $0,3 \text{ l/s}$ per m^2 gevel. Voor de kieren resteert dan $1,5 \text{ l}/(\text{s.m}^2)$.

Op grond van de eerste metingen is een gemiddelde kierlengte per m^2 buitengevel bepaald van $0,6 \text{ m}^1/\text{m}^2$, zodat een toelaatbare gemiddelde doorlaat bij toetsingsdruk voor kieren kan worden afgeleid van $2,5 \text{ l}/(\text{s.m}^1)$. Bij een groter kierlengte dan $0,6 \text{ m}^1/\text{m}^2$ dient deze eis dan evenredig te worden verminderd.

Resumerend volgt:

Tabel 1: Eisen van de Rijksgebouwendienst voor de luchtdoorlatendheid van de gevel als geheel en van kieren en naden afzonderlijk

Bij de toetsingsdruk (zowel over- als onderdruk) volgens NEN 3661 zijn de maximaal toelaatbar doorgelaten luchthoeveelheden voor:

de gevel als geheel:

- met te openen ramen $1,8 \text{ l}/(\text{s.m}^2) (= 6,5 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2))$
- zonder te openen ramen $0,5 \text{ l}/(\text{s.m}^2) (= 1,8 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2))$

kieren bij bewegende delen.*

- kierlengte $l_k \leq 0,6 \text{ m}^1/\text{m}^2$ $2,5 \text{ l}/(\text{s.m}^1) (= 9,0 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2))$
- kierlengte $l_k > 0,6 \text{ m}^1/\text{m}^2$ $\frac{0,6}{l_k} \cdot 2,5 \text{ l}/(\text{s.m}^1)$

naden in gevelelementen en bij bouwkundige aansluitingen: $0,05 \text{ l}/(\text{s.m}^1) (= 0,18 \text{ m}^3/(\text{h.m}^1))$

ventilatie-roosters in $1000 \cdot A_v$ (l/s)
gesloten toestand** of:

de hoeveelheid ventilatielucht waarvoor het rooster volgens uitgangspunten van de NPR 1088 als ventilatievoorziening geschikt is.

* Maatgevend voor de luchtdoorlatendheidseis, die aan kieren wordt gesteld, is de totale lengte aan kieren gemiddeld over het bijbehorende buitenoppervlak van een representatief gevelgedeelte (per vertrek, per travee, per bouwlaag).

** A_v is de netto ventilatieopening in m^2 volgens de uitgangspunten van de Nederlandse Praktijkrichtlijn NPR 1088.

2. Resultaten luchtdoorlatendheidsmetingen

Hiernavolgend wordt een overzicht gegeven van de resultaten van de luchtdoorlatendheidsmetingen in praktijk, die door de Afdeling Bouwfysica van de Rijksgebouwendienst in de periode van 1980 tot en met 1985 zijn verricht. In de bijlage van dit rapport zijn de uitgebreide samenvattingen (opgezet volgens rap. 262.17/S/Ad) van de meetrapporten opgenomen.

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de projecten, waarbij is aangegeven in welk rapport de metingen zijn verslagen met de daarbij behorende meetdata, welke klasse van de NEN 3661 er van toepassing is en of er te openen ramen aanwezig zijn.

In tabel 3 en 4 worden de meetresultaten betreffende gebouwen met te openen ramen respektievelijk gebouwen met een geheel gesloten gevel samengevat. Hierbij zijn in de tabellen de volgende gegevens opgenomen:

l_k	=	gemiddelde kierlengte per m^2 buitengeveloppervlak
l_n	=	gemiddelde naadlengte per m^2 buitengeveloppervlak
P_{toets}	=	toetsingsdruk in Pa volgens NEN 3660
Q_{gevel}	=	totale luchtdoorlatendheid van de gevel bij toetsingsdruk in l/s per m^2 buitengeveloppervlak
Q_{kier}	=	gemiddelde luchtdoorlatendheid van de kieren bij toetsingsdruk in l/s per m^1 kier
Q_{naad}	=	gemiddelde luchtdoorlatendheid van de naden als totaal bij toetsingsdruk in l/s per m^2 buitengeveloppervlak
C_{gevel}	=	de C-waarde van de gevel; deze geeft aan hoeveel lucht er door $1 m^2$ buitengeveloppervlak verdwijnt bij 1 Pa drukverschil over de gevel de C-waarde van de gevel volgt uit: $C_{gevel} = \frac{Q_{gevel}}{(P_{toets})^{2/3}}$
C_{kier}	=	de C-waarde van de kieren; deze geeft aan hoeveel lucht er gemiddeld door $1 m^1$ kier verdwijnt bij 1 Pa drukverschil. De C-waarde van de kieren volgt uit: $C_{kier} = \frac{Q_{kier}}{(P_{toets})^{2/3}}$

Ten aanzien van deze gegevens wordt nog het volgende opgemerkt:

- Op grond van de C-waarde is een reële kwaliteitsvergelijking mogelijk; aan de hand van de luchtdoorlatendheden bij toetsingsdruk worden de huidige eisen geevalueerd.

- Aangezien de coëfficiënt $2/3$ een gemiddelde waarde is en betrekking heeft op de aard van de stroming zijn de hier gegeven C-waarden alleen van toepassing bij drukverschillen in de buurt van dat ten tijde van de meting.
- Een hanteerbare definitie van de werkzame naadlengte l_n is problematisch. De in de tabel gegeven waarden l_n moeten dan ook met voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. Derhalve zijn ook geen C-waarden voor naden afgeleid.

Tabel 2: Overzicht luchtdoorlatendheidsmetingen Afdeling Bouwfysica

	te openen ramen	klasse vol- gen NEN 3661	meet- datum*	rap.nr.
Koninklijke Bibliotheek, 's-Gravenhage		B 40	801001	262.04/C
Rijks Inkoop Bureau, Zwolle	x	B 15	801002	262.04/C
Centraal Belasting Kantoor, Utrecht		B100	801029	262.04/C
Belasting Kantoor, Assen	x	B 15	801030	262.04/C
Min. van Binnenlandse Zaken, 's-Gravenhage		B100	801112	262.04/C
Groeps- en rayonbureau Rijkspolitie, Waddinxveen	x	B 15	810107	262.05/C
Centraal Bureau Statistiek, Heerlen	x	B 40	810826	306.09/H/C
Min. van Onderwijs en Wetenschappen, Zoetermeer	x	B 40	820209	393.04/H/R
idem	x	B 40	820217	393.06/H/R
idem	x	B 40	820218	393.06/H/R
Nieuwbouw Academisch Ziekenhuis, Leiden		B100	820415	284.04/B/R
Belastinggebouw, Haarlem	x	B 40	820624	520.03/R/D
Min. van Onderwijs en Wetenschappen, Zoetermeer	x	B 40	820713	393.08/H/R
Rijkskantorengedouw, Lelystad	x	B 40	820708	643.01/R/D
idem	x	B 40	820723	643.01/R/D
Rijkswaterstaat Koningskade, 's-Gravenhage		B100	820710	551.02/R/D.L
idem		B100	820813	551.02/R/D.L
Min. van Buitenlandse Zaken, 's-Gravenhage	x	B 40	821027	445.04/B/Z
idem	x	B 40	821110	445.04/B/Z
Uitbreiding Rijksscholengemeenschap, Steenwijk	x	B 15	830120	296.10/H/D

* Soms waren de metingen over meerdere dagen verspreid.

Tenzij vermelding van de meetdata voor de vergelijking van de oorspronkelijke en verbeterde gevel relevant is, wordt hier de laatste meetdatum gegeven.

Tabel 2: Overzicht luchtdoorlatendheidsmetingen Afdeling Bouwfysica (vervolg)

	te openen ramen	klasse vol- gen NEN 3661	meet- datum	rap.nr.
Topografische Dienst, Emmen	x	B 40	831006	479.12/H/Z
idem	x	B 40	831020	479.12/H/Z
Belastinggebouw, Haarlem	x	B 40	831214	520.05/R/D
Belastinggebouw, Hoorn	x	B 40	840202	260.11/H/L
Gerechtigd Laboratory, Rijswijk	x	B 40	840305	833.01/R/Z
Nieuwbouw Centraal Bureau Statistiek, Heerlen	x	B 40	840426	306.13/H/Z
Nieuwbouw Rijkskantorenggebouw, Eindhoven	x	B 40	841003	379.08/H/D
Gewestelijk Arbeidsbureau, Lisse	x	B 15	840921	858.03/R/A
idem	x	B 15	841006	858.04/R/A
Gerechtsgebouw, Breda	x	B 15	841030	309.15/H/A
idem	x	B 15	841101	309.15/H/A
R.I.V.M., Bilthoven		B 40	850125	314.04/R/D
Nieuwbouw PTT, Kronmenie	x	B 15	850130	606.03/H/D
Districtsbureau Rijkspolitie, 's-Hertogenbosch	x	B 15	850301	550.06/R/R
Rijks Pedagogische Academie, Alkmaar	x	B 15	850304	297.13/H/B
Nieuwbouw Rijksscholengemeenschap, Epe	x	B 15	850410	469.06/R/D
Rijksscholengemeenschap, Enkhuizen	x	B 15	850702	401.06/R/D
Rijks Inkoop Bureau, Zwolle	x	B 40	850731	327.03/S/D
W.V.C.-A, Leidschendam		B 40	850829	226.05/S/D
W.V.C.-M, Rijswijk		B 40	850905	995.01/S/D
Rijksscholengemeenschap, Harderwijk	x	B 15	851115	472.08/R/D

* Soms waren de metingen over meerdere dagen verspreid.

Tenzij vermelding van de meetdata voor de vergelijking van de oorspronkelijke en verbeterde gevel relevant is, wordt hier de laatste meetdatum gegeven.

Tabel 3: Meetresultaten van gebouwen met te openen ramen.

	l_k m/m ²	l_n m/m ²	Ptoets Pa	Qgevel l/(s.m ²)	Cgevel l/(s.m ² .Pa ^{2/3})	Qkier l/(s.m ¹)	Ckier l/(s.m ¹ .Pa ^{2/3})	Qnaad l/(s.m ²)
ijks Inkoop Bureau, Zwolle 1	0,53	4,55	150	2,2	76	-	-	-
elasting Kantoor, Assen	0,46	3,31	150	1,8	62	-	-	-
idem 2				0,6	22	-	-	-
ijkspolitie, Waddinxveen	0,35	3,21	150	0,7	24	-	-	-
BS, Heerlen	1,08	3,77	200	1,0	29	0,48	14	0,48
. O&W, Zoetermeer	0,65	4,10	200	3,9	115	-	-	-
idem 4				1,5	44	-	-	-
dem 5				0,5	15	-	-	-
belastinggebouw, Haarlem	0,64	5,00	200	8,4	247	7,39	216	3,67
in. O&W, Zoetermeer	0,70	3,24	200	0,6	18	-	-	-
Rijkskantorengedouw, Amelystad	0,85	3,35	200	4,1	119	-	-	-
dem 6				1,2	36	-	-	-
Min. Bu.Za., Amst-rs-Gravenhage	0,23	7,86	200	4,1	120	-	-	-
dem 7				1,1	33	-	-	-
Rijksscholengemeen- chap, Steenwijk 8	1,22	5,10	150	2,6	91	0,11	4	2,47
Topografische Dienst, Am-en	0,99	5,35	200	3,5	101	-	-	-
dem 9	1,00	5,39	200	1,3	38	-	-	-
Belastinggebouw, aarlem 10	0,33	5,33	200	2,6	75	-	-	-
elastinggebouw, Hoorn 11	-	-	200	1,3	39	-	-	-
erechtelijk Labora- torium, Rijswijk	0,70	3,66	200	8,8	259	5,38	157	5,03
idem 12				2,2	64	-	-	-

Tabel 3: Meetresultaten van gebouwen met te openen ramen (vervolg).

	l_k m/m ²	l_n m/m ²	Ptoets Pa	Q_{gevel} l/(s.m ²)	C_{gevel} l/(s.m ² .Pa ^{2/3})	Q_{kier} l/(s.m ¹)	C_{kier} l/(s.m ¹ .Pa ^{2/3})	Q_{naad} l/(s.m ²)
C.B.S., Haarlem 13	-	-	200	4,4	-	-	-	-
Rijkskantorengedouw, Eindhoven 14	0,78	3,30	200	2,2	64	0,04	1	2,17
Gewestelijk Arbeids- bureau, Lisse 15	0,50	-	150	20,9	740	-	-	-
idem			150	4,0	142	-	-	-
Gerechtsgebouw, Breda	0,98	3,90	150	4,1	144	0,25	9	3,86
idem 16			150	2,0	70	1,16	41	0,86
Nieuwbouw PTT, Lommenie	0,23	3,61	150	1,0	37	1,70	60	0,61
Rijkspolitie, 's-Hertogenbosch 17	0,22	5,06	150	2,5	90	-	-	-
R.P.A., Alkmaar 18	1,14	1,61	150	5,1	180	1,10	39	3,85
Rijksscholengemeen- schap, Epe 19	0,69	3,72	150	4,1	144	2,46	87	2,40
Rijksscholengemeen- schap, Enkhuizen	0,30	2,96	150	30,6	1085	-	-	-
idem 20			150	8,2	292	-	-	-
Rijks Inkoop Bureau, Zwolle 21	0,33	-	200	3,7	107	-	-	-
Rijksscholengemeen- schap, Harderwijk ^{21, 22}	0,31	4,46	150	2,4	85	1,33	47	1,99

Toelichting tabel 3

- 1 : Een aanzienlijk deel van de door de ventilator toegevoerde lucht stroomde via de spouw in de gevelconstructie naar andere vertrekken binnen het gebouw. De luchtlekkage naar buiten zal derhalve in redelijke mate kleiner zijn dan de hier gegeven getalwaarden.
- 2 : Na afplakken van grote lekkage ter plaatse van de naden tussen de houten betimmering.
- 3 : Uit de rookproef bleek dat een groot deel van de door de ventilator toegevoerde lucht via het schot naar binnen verdwijnt. Een kwantitatieve schatting hiervan was niet mogelijk.
- 4 : Na verbetering van een aantal details op luchtdichting.
- 5 : Na afkitten van een naad ter plaatse van de aansluiting van de betonnen borstwering en de aluminium pui.
- 6 : In de verbeterde situatie is de aansluiting van het aluminiumkozijn op de betonkolom afgekit en is gesloten-cellig band toegepast ter plaatse van de aansluiting van de bovendorpel van de aluminiumpui op de bovengelegen betonvloer. Deze aansluiting is tevens voorzien van een kitvoeg. Op grond van de rookproef wordt geschat dat de werkelijk naar buiten stromende lucht ca. 2/3 van de hier vermelde waarden bedraagt.
- 7 : Na afdichting aansluiting F-profiel betonvloer en hoekoplossing. Bij deze meting is gebruik gemaakt van twee zijcompartimenten, die echter nooit onder toetsingsdruk gebracht konden worden.
- 8 : Met afgeplakte gesloten ventilatieroosters. Ten aanzien van de lekkage via naden wordt opgemerkt dat er tevens luchttransport door het poreuze binnenspouwblad (poriso) plaats vond, waardoor de totale volumestroom met voorzichtigheid geïnterpreteerd moet worden. De werkelijke waarde zal geringer zijn.
- 9 : Na afdichting van diverse naden, met name: de aansluiting van stelkozijn op metselwerk en de aansluiting van de aluminiumpui-onderdorpel op het metselwerk.
- 10: Het beproefde gevelfragment betreft een gerenoveerde gevel. De metingen zijn uitgevoerd om na te gaan in hoeverre de maatregelen, die na de voorgaande metingen waren getroffen, in een verbeterde geveldichtheid hebben geresulteerd. Op grond van de rookproef wordt geschat dat 1/3 tot 1/2 deel van de totale volumestroom via de gevel plaats vindt. Derhalve zal de werkelijke luchtdoorlatendheid van de gevel aanzienlijk kleiner zijn dan de in de tabel vermelde waarde.
- 11: Met gesloten ventilatieroosters, gemeten na een rookproef. Door ontbreken van de kierlengte kunnen geen C-waarden bepaald worden.

- 12: Met afgeplakte gesloten ventilatieroosters. In de bestaande situatie is geen kierdichting geconstateerd. Na aanbrengen hiervan en afkitten van de naad ter plaatse van de aansluiting onderdorpel kozijn - metselwerk, de naad tussen stellat en kozijn (bovenaansluiting) en de naden bij het multiplexpaneel tussen de kozijnen is een aanzienlijke verbetering gemeten.
- 13: Ten aanzien van deze meetwaarde wordt opgemerkt dat het meetcompartiment niet luchtdicht te krijgen was. Grote lucht lekkage vond plaats via de omwandingen (poriso) van het meetcompartiment. Een kwantitatieve indicatie van de luchtdoorlatendheid van de gevel was derhalve niet mogelijk.
- 14: Uit thermografie en een rookproef bleek dat het merendeel van de door de ventilator toegevoerde lucht via het schot werd afgevoerd. De werkelijke luchtdoorlatendheid voor de gevel zal daarom aanzienlijk lager liggen dan in de tabel vermeld.
- 15: De gevel was dermate lek dat pas na afplakken van naden en kieren een geringe druk in de proefkamer kon worden opgebouwd. Na verbetering van de kierdichting van het raam en afdichten van de aansluiting van het kunststofraam op omringende delen (met name stalen dak en aansluiting op stijlen) is de tweede meting uitgevoerd. Op grond van de rookproef wordt geschat dat de werkelijke luchtdoorlatendheid ca. 2/3 van de in de tabel vermelde waarde zal bedragen.
- 16: Doordat het raam opnieuw is afgesteld, is de kierdichting verminderd.
- 17: Overeenkomstig het beeld bij voorgaande metingen vindt een belangrijk deel van de lekkage plaats via de houten onderdorpelconstructie. (Geadviseerd is uit oogpunt van luchtdichting een betonnen onderdorpel ter plaatse van de aansluiting kozijn - metselwerk toe te passen).
Tevens treedt belangrijke lekkage op bij de aansluiting van het houten stelkozijn op het metselwerk.
- 18: Met afgeplakte gesloten roosters. De belangrijkste lucht lekkage vindt plaats via de naden ter plaatse van de aansluiting van het kozijn op het metselwerk. Indien deze naden worden voorzien van kit of gesloten-celligband aan de buitenzijde wordt verwacht dat aan de huidige eis van $1,8 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ wordt voldaan.
- 19: Uit de rookproef bleek dat lekkage van het schot voor ca. 1/3 bijdraagt aan de totale luchtverliezen. De werkelijke luchtdoorlatendheid van de gevel zal kleiner zijn dan de in de tabel vermelde waarde.
Indien de kierdichting en de naaddichting ter plaatse van de aansluiting vensterbank-kozijn verbeterd worden, zal aan de gestelde eis voldaan worden.

- 20: Belangrijke oorzaak voor de grote luchtlekkage is de detaillering bij de bovenaansluiting van kozijn op voorhangende gevelplaat. Na de tweede meting is aangegeven dat door verbetering van dit detail aan de gestelde eis van $1,8 \text{ l}/(\text{s.m}^2)$ kan worden voldaan. Op grond van de rookproef werd geschat dat ca. 40% van de door de ventilator toegevoerde lucht naar buiten ontweek. De werkelijke waarde voor de luchtdoorlatendheid van de gevel is dus kleiner dan de opgenomen tabelwaarde.
- 21: Op grond van de rookproef wordt de werkelijke luchtdoorlatendheid van de gevel geschat op $2/3$ van de hier gegeven waarde.
- 22: Met afgeplakte gesloten roosters. De belangrijkste luchtlekken zijn de aansluiting ter plaatse van de onderdorpel (kozijn), de kieren en de aansluiting van de stijlen van het kozijn op het metselwerk.

Tabel 4: Meetresultaten van gebouwen met een geheel gesloten gevel.

	l_n m/m ²	Ptoets Pa	Qgevel* l/(s.m ²)	Cgevel l/(s.m ² .Pa ^{2/3})
Koninklijke Bibliotheek, 's-Gravenhage	4,10	200	1,0	30
Centraal Belasting Kantoor, Utrecht ¹	2,30	250	1,4	36
Min. van Binnenlandse Zaken, 's-Gravenhage ²	3,65	250	3,4	86
Nieuwbouw Academisch Ziekenhuis, Leiden	2,31	250	0,5	12
Rijkswaterstaat Koningskade, 's-Gravenhage	-	250	2,8	70
idem ³			0,7	18
R.I.V.M., Bilthoven	5,72	200	6,9	202
idem ⁴			2,3	67
W.V.C.-A, Leidschendam	-	200	10,1	296
idem ⁵			7,9	230
W.V.C.-M, Rijswijk	5,08	200	19,5	570
idem ⁶			17,7	517

* Qgevel = Qnaad

Toelichting tabel 4

- 1 : Er zijn geen duidelijke luchtlekken naar buiten toe geconstateerd. Gesteld wordt op grond van de rookproef dat het grootste gedeelte van de luchtlekkage via het schot naar binnen plaatsvond. De doorgelaten luchthoeveelheid via de gevel bij toetsingsdruk zal indicatief niet meer dan 50% van de in de tabel vermelde waarde bedragen.
- 2 : Uit de rookproef bleek dat het schot goed luchtdicht was, maar dat er via een spouw in de gevelelementen luchttransport naar aangrenzende ruimten plaats vond. De werkelijk naar buiten stromende luchthoeveelheid wordt als gevolg hiervan op de helft van de genoemde getalwaarde geschat.
- 3 : Na verbetering sluiting glazenwas-ramen en afkitten diverse naden in borstweringspaneel.
- 4 : Na de rookproef zijn er nog een tweetal metingen verricht; bij toetsingsdruk werd een volumestroom van $1,1 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ gemeten.
- 5 : Na afplakken van naad tussen kozijn en spouwmuur. Opgemerkt wordt dat bij deze metingen geen rookproef kon worden uitgevoerd, gezien de locatie en de ventilatie van de betreffende kamer. Gezien ervaringen wordt gesteld dat in werkelijkheid de luchtdoorlatendheid ca. $2/3$ deel van de tabelwaarde bedraagt.
- 6 : Na afplakken van 22 m^1 naad.
Op grond van visuele waarneming tijdens de rookproef worden de werkelijke waarden op de helft van de hier gegeven waarden geschat.

3. Conclusies

In de onderzochte gebouwen blijkt de gemiddelde lengte aan kieren te variëren van $0,22 \text{ m}^1/\text{m}^2$ tot $1,22 \text{ m}^1/\text{m}^2$ met een gemiddelde van $0,63 \text{ m}^1/\text{m}^2$ buitengeveloppervlak. Deze gemiddelde waarde stemt goed overeen met de in rapport 262.09/L beschreven uitgangspunten die aan de huidige eisen van de Afdeling Bouwfysica ten grondslag liggen.

De gemiddelde naadlengte varieert van $1,61$ tot $7,86 \text{ m}^1/\text{m}^2$ met een gemiddelde van $4,11 \text{ m}^1/\text{m}^2$ buitengeveloppervlak. Daarbij wordt nadrukkelijk opgemerkt dat uit praktijkervaringen is gebleken dat het vaststellen van de werkzame (of lekkende) naadlengte problematisch is, aangezien het begrip niet eenduidig vastgelegd is (kan worden) en daardoor ook niet hanteerbaar blijkt te zijn. De bovengenoemde getalwaarden dienen daardoor met voorzichtigheid geïnterpreteerd te worden.

3.1 Gebouwen met geheel gesloten gevels

Indien rekening gehouden wordt met luchttransport van de door de ventilator toegevoerde lucht naar andere ruimten binnen het gebouw, kan gesteld worden dat aan de gestelde eis van $0,5 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ in het grootste deel van de onderzochte gebouwen voldaan wordt. Opgemerkt wordt dat zowel RIVM te Bilthoven als WVC-A te Leidschendam en WVC-M te Rijswijk als slecht luchtdicht gekwalificeerd moeten worden. Echter de betreffende gebouwen zijn in het kader van het onderzoek "luchtdichtheidsgebreken van gebouwen" dat eveneens door de Afdeling Bouwfysica wordt uitgevoerd, geselecteerd op basis van de bestaande onvoldoende luchtdichting.

Geconcludeerd wordt dat de huidige eis voor de luchtdoorlatendheid van geheel gesloten gevels reëel is en niet strenger gesteld behoeft te worden. Tevens is gebleken dat een slechte detaillering van de naden bij aansluitingen veelal direct grote gevolgen heeft voor de luchtdoorlatendheid van de gevel als geheel.

3.2 Gebouwen met te openen ramen

Gezien de resultaten die in tabel 3 zijn gegeven (en met name wanneer daarbij ook luchtverliezen naar overige ruimten in het gebouw worden betrokken), wordt gesteld dat aan de huidige eis van $1,8 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ buitengeveloppervlak bij een doordachte detaillering van de naden bij aansluitingen gemakkelijk voldaan kan worden. Vrijwel alle in de uitvoeringsfase onderzochte projecten bleken aan de gestelde eis te kunnen voldoen, ofschoon dit veelal pas verwezenlijkt werd na het treffen van voorzieningen.

Het grote nut van het uitvoeren van luchtdoorlatendheidsmetingen in een vroeg stadium van de bouw wordt hierdoor benadrukt; voor gebleken problemen kan vroegtijdig naar een oplossing worden gezocht.

In het algemeen wordt geconcludeerd dat in geval er niet voldaan wordt aan de eis voor de gevel als totaal de oorzaak veelal gezocht kan worden in een slechte detaillering ter plaatse van naden bij aansluitingen. Met name de aansluiting van het kozijn op het omringende metselwerk en in het bijzonder de aansluiting onderdorpel/borstwering is een regelmatig geconstateerd lek. Evenals bij de geheel gesloten gevels is gebleken dat een slechte naadafdichting veelal direkt grote gevolgen heeft voor de luchtdoorlatendheid van de gevel als geheel.

Uit de meetresultaten blijkt dat de luchtdoorlatendheid van kieren bij toetsingsdruk (uitgezonderd het Belastinggebouw te Haarlem en het Gerechtelijk Laboratorium te Rijswijk, waar geen kierdichting aangebracht was) varieert tussen $0,04 \text{ l}/(\text{s.m}^1)$ en $2,46 \text{ l}/(\text{s.m}^1)$ met een gemiddelde van $0,95 \text{ l}/(\text{s.m}^1)$. Ofschoon de luchtdoorlatendheid van kieren slechts in een gering aantal metingen afzonderlijk is bepaald, wordt gesteld dat door een goede kierdichting eenvoudig aan de huidige eis kan worden voldaan. De indruk bestaat dat deze eis mogelijk verzaamd kan worden.

Bij een eventuele wijziging van de luchtdoorlatendheidseisen voor kieren dient de bij overige (keurings-)instituten uitgebreid aanwezige informatie te worden beschouwd (bijv. ook schuiframen). Aangezien echter in de herziene versie van de NEN 3661 (in concept gereed, januari 1986) wordt aangesloten op de Rgd-richtlijn van $2,5 \text{ l}/(\text{s.m}^1)$, kan de huidige eis vooralsnog gehandhaafd blijven.

Met betrekking tot de huidige Rgd-richtlijn voor de luchtdoorlatendheid van naden wordt geconcludeerd dat een (gemiddelde) kwaliteitseis per m^1 naad niet hanteerbaar is gezien de in praktijk optredende problemen bij het vaststellen van de naadlengte. Aangezien bovendien veelal geconcentreerde lekken blijken op te treden, is een nadere bezinning hiervan noodzakelijk. Overwogen kan worden om, aansluitend op de oorspronkelijke opzet in de NEN 3661, aan de gezamenlijke luchtdoorlatendheid van naden een maximum te stellen. Deze eis dient daarbij te worden afgestemd op de huidige eis voor volledig gesloten gevels. Ofschoon de in tabel 3 gegeven informatie beperkt is, lijkt een luchtdoorlatendheid van $0,5 \text{ l}/(\text{s.m}^2)$ buitengevel reëel haalbaar.

Een nadere onderbouwing hiervan in de toekomst is noodzakelijk. Een en ander heeft tot gevolg gehad dat de door de Afdeling Bouwfysica gevolgde meetprocedure en rapportage structureel zijn opgezet.

's-Gravenhage, 16 maart 1986



ir. A.C. van der Linden

(h.a. ir. O.C.G. Adan)

Rijksgebouwendienst
Afdeling Bouwfysica
Postbus 20952
2500 EZ 's-Graveenhage
Tel.: 070 - 614221
Behandeld door: ir. O.C.G. Adan

4. Literatuur:

1. NEN 3660:
Ramen - luchtdoorlatendheid, waterdichtheid, stijfheid en sterkte Beproevingsmethoden
Nederlands Normalisatie Instituut, 1^e druk, juli 1975
2. NEN 3661:
Ramen - luchtdoorlatendheid, waterdichtheid, stijfheid en sterkte Eisen
Nederlands Normalisatie Instituut, 1^e druk, juli 1975
3. Herziening NEN 3660 (concept)
Gevelelementen - luchtdoorlatendheid, stijfheid en sterkte Beproevingsmethoden
Nederlands Normalisatie Instituut, 1^e druk, januari 1986
4. Herziening NEN 3661 (concept)
Gevelelementen - luchtdoorlatendheid, waterdichtheid, stijfheid en sterkte Eisen
Nederlands Normalisatie Instituut, 1^e druk, januari 1986
5. Uitgangspunten bij de vaststelling van de aan de luchtdoorlatendheid van gevels te stellen eisen
Rijksgebouwendienst, Afdeling Bouwfysica, rapport 262.09/L, 29 februari 1984
6. Richtlijn betreffende de aan de luchtdoorlatendheid van gevels te stellen eisen.
Rijksgebouwendienst, Afdeling Bouwfysica, rapport 262.10/L, 29 februari 1984
7. Handleiding bij het meten van de luchtdoorlatendheid van gevels
Rijksgebouwendienst, Afdeling Bouwfysica, rapport 262.17/S/Ad, 17 maart 1986

