Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 106 (1988)
Heft: 5

Artikel: Abgasreinigung bei Kehrichtverbrennungsanlagen
Autor: Stücheli, A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-85629

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: 11.07.2025

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

Abgasreinigung bei Kehrichtverbrennungsanlagen

Die Siedlungsabfallmenge pro Einwohner hat sich in der Schweiz in den letzten 25 Jahren mehr als verdoppelt und erreicht heute mit 360 kg/Einwohner und Jahr einen jährlichen Gesamtanfall von 2,5 Mio. Tonnen. Rund ein Fünftel davon gelangt heute noch auf Deponien, während jährlich 2 Mio. Tonnen Siedlungsabfall verbrannt werden. Aus einer Tonne Kehricht entstehen bei der Verbrennung rund 300 kg Schlacke und 7800 kg Rauchgas, deren Schadstoffanteile so reduziert werden müssen, dass die in der Luftreinhalteverordnung festgelegten Grenzwerte unterschritten werden. Dies wird einerseits durch eine der Verbrennung vorgelagerte Sortierung und teilweise Wiederverwertung erreicht, anderseits - unter Voraussetzung aller möglichen Verbesserungen im feuerungstechnischen Bereich - durch Rauchgasreinigung und nachgeschaltete Rückstandsnachbehandlung, so dass Aschen und Rückstände endlagerfähig werden. Diese Zielsetzung erfordert Rauchgasreinigungsanlagen, welche die verfügbaren Verfahren bis an ihre chemischen und physikalischen Grenzen ausschöpfen und die eigentlichen chemischen Fabriken nahekommen.

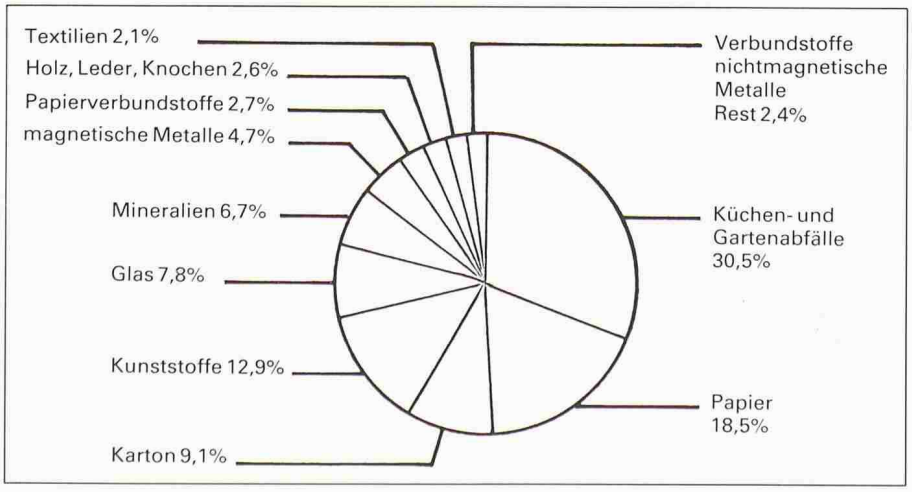
Die thermische Behandlung von Siedlungsabfällen, im besondern die Verbrennung von Kehricht, das heisst

VON DR. A. STÜCHELI, WINTERTHUR

Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbe-Industrie- und Dienstleistungs- / Verwaltungsabfällen, ist im schweizerischen Entsorgungssystem von grundlegender Bedeutung. Während in unseren Städten seit Jahrzehnten der Kehricht verbrannt wird, weil kein Deponieraum mehr zur Verfügung steht, gibt es in ländlichen Regionen erst seit rund 15 Jahren Verbrennungsanlagen, entstanden hauptsächlich unter dem Vollzugsdruck der Gewässerschutzgesetzgebung aus dem Jahre 1971.

Seit 1960 hat sich die Siedlungsabfallmenge von 150 kg/Einwohner und Jahr auf über 360 kg/E.a oder 2 500 000 t/a erhöht. In der Siedlungsabfallzusammensetzung sind anstelle pflanzlich-tierischer Abfälle immer höhere Anteile an Papier, Kunststoffe, Glas, Metalle und andere Materialien getreten (Tab. 1), (Bild 1). Dadurch sind neue Schadstoffe wie Salzsäure, Flusssäure und Schwermetalle im Verbrennungsofen entstanden bzw. freigesetzt worden, und die primäre Rauchgasreinigung (RGR), die Feststoffpartikelabscheidung mittels Elektrofilter, genügt heute nicht mehr. Unser zunehmendes Umweltschutzbewusstsein, zusammen mit einer gezielten Abfallbewirtschaftung, besonders Vorsortieren im Haushalt und Recycling, werden die Siedlungsabfall-Zusammensetzung nochmals signifikant und in nicht vorhersagbarer Weise verändern.

Bild 1. Zusammensetzung des Kehrichts in der Schweiz



Appelle an das Umweltbewusstsein haben heute bereits grosse Erfolge, das zeigen die separaten Altpapier- und Glassammlungen. 1985 wurden fast 50% des verbrauchten Papiers wieder eingesammelt; heute stellen sich aber echte Abnahmeprobleme bei Papierfabriken ein, da in der Schweiz vor allem hochwertige Papiere für moderne Druckverfahren und schnelllaufende Maschinen verlangt werden. Beim Glas werden rund 45% rezirkuliert und für die Herstellung von Grünglas fast 100% Altglas verwendet; Braunglas besteht zu 60% und Weissglas zu 50% aus Altglas. Bei Alteisen, Reifen und Textilien besteht ein enormer Recyclingüberfluss, bei Kunststoffen ein echtes Recyclingproblem, da es über 50 Kunststoffarten gibt und z. B. Verpackungsmate-

Tabelle 1. Zusammenstellung der wichtigsten Eigenschaften von Hausmüll

Physikalische Eigenschaften		
Heizwert (unterer)		ca. 8400 kJ/kg
Anteil Brennbares		ca. 45 Gew.-%
Anteil Asche		ca. 25 Gew.-%
Anteil Wasser		ca. 30 Gew.-%
Grobeisenmenge (bezogen auf die Gesamtmasse)		ca. 4 bis 5%
Schüttgewicht in kg/m³:		
loser Müll (Sack oder Eimer)		90 bis 120
im Müllfahrzeug (gepresst)		350 bis 550
im Müllbunker		200 bis 300
Chemische Eigenschaften (Mittelwerte in % bezogen auf TS)		
Kohlenstoff	C	30–40
Wasserstoff	H	4–5
Sauerstoff	O	17–30
Stickstoff	N	0,3–0,45
Chlor	Cl	0,5–1,5
Schwefel	S	0,2–0,7
Schwermetalle in g/kg Müll (feucht)		
Blei	Pb	0,6–2,0
Kupfer	Cu	0,12–0,78
Eisen	Fe	10–100
Zink	Zn	0,44–2,30
Zinn	Sn	0,05–0,32
Chrom	Cr	0,02–0,88
Cadmium	Cd	0,003–0,012
Barium	Ba	0,084–1,225

Zusammensetzung nach Abfallstoffgruppen (Gew.-%)	*Jahr 1961*	*Jahr 1975*
Papier, Karton	19	40
Küchenabfälle	57	12
Glas, Steine, Keramik	3	12
Metalle	2	5
Holz	1	4
Kunststoffe	2	4
Textilien	2	4
Gummi, Leder	1	2
Verschiedenes	13	17

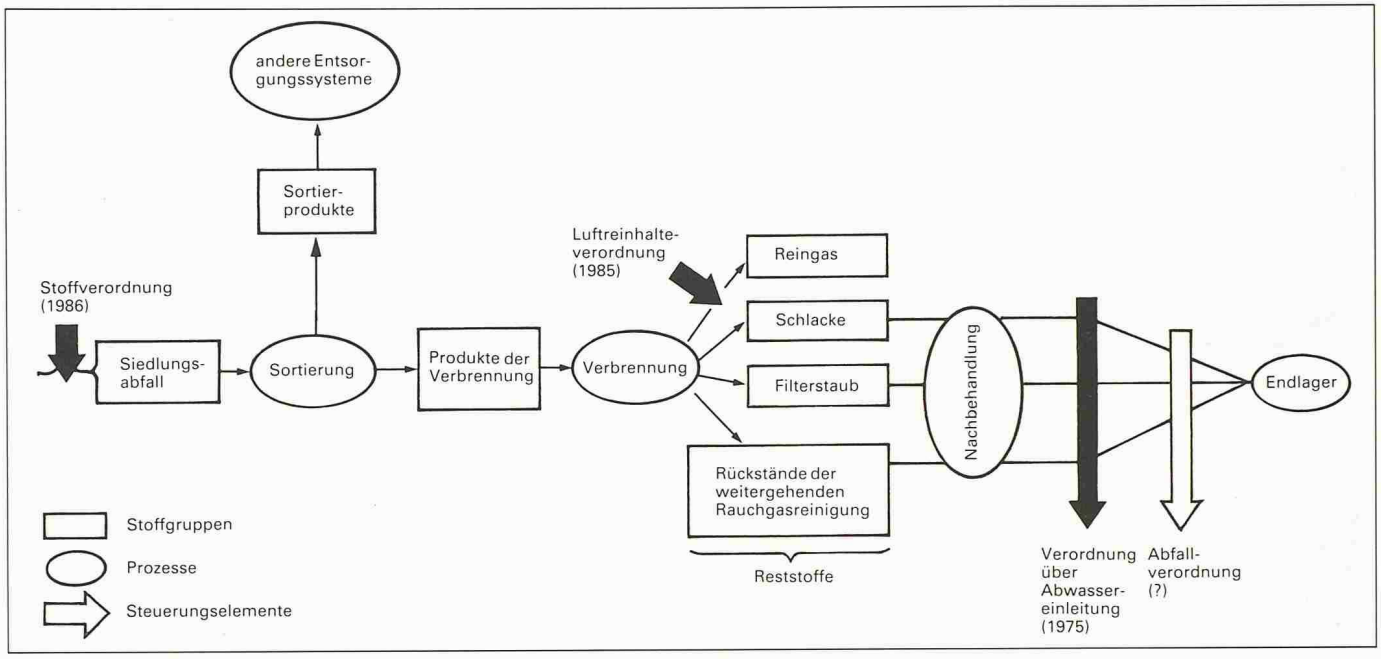


Bild 2. Schematische Darstellung des Stoffflusses durch das Entsorgungssystem Verbrennung

rial «Mehrlagen-Legierungen» darstellen. Im kommenden Jahr werden wir erste Versuche des Aluminiumdosen-Recycling erleben.

Nach wie vor aber ist das Entsorgungssystem «Verbrennung» für die Schweiz nicht wegzudenken, so jedenfalls im Leitbild für die schweizerische Abfallwirtschaft festgehalten (Bild 2). Was zukünftig ändern wird, sind eine der Verbrennung vorgelagerte weitergehende Sortierung und teilweise Wieder- oder Andersverwertung (z. B. Kompostierung) und eine nachgeschaltete Rückstandsnachbehandlung, die im wesentlichen Filterasche und Rauchgasreinigungsrückstände nicht mehr eluierbar und damit endlagerfähig machen werden.

Neben den jährlich rund 2 Mio. Tonnen verbrannten Siedlungsabfällen gelangen auch heute noch 500 000 t direkt auf eine Deponie. Und wenn man weiss, dass in der Schweiz ein «Altlasten-Kataster» erstellt wird mit heute

- etwa 1000 nachgewiesenen Deponien der Klasse II, III, IV
- etwa 2000 Deponiestellen unbekannten Inhalts
- etwa 60 Schadstoffanreicherungen im Bereich von Betrieben
- 400–500 grösseren Chemie- und Ölunfällen

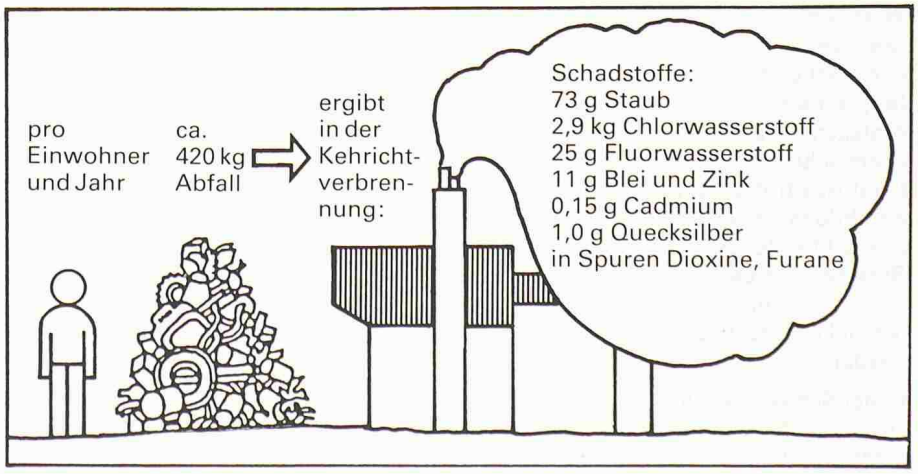
und noch gegen 700 Ablagerungen näher zu untersuchen sind, können wir für die nächsten Jahre noch einige journalistisch ausgewertete Sensationsmeldungen erwarten. Die Gesamtsituation ist tatsächlich ernst, und es ist höchste Zeit, die schleichende Vergiftung von Luft und Boden zu stoppen, denn am Ende landet alles im (Trink-) Wasser, das bekanntlich eines der universellsten Lösungsmittel ist!

Die Schadstoffflüsse aus Kehrichtverbrennungsanlagen

Da Kehricht ein sehr heterogenes Gemisch unterschiedlichster Abfallstoffe darstellt und seine Zusammensetzung sowohl kurz- als auch langzeitlich erheblich schwanken kann, sind alle quantitativen Angaben mit einer grossen Schwankungsbreite zu interpretieren.

Zur Verbrennung von 1 t Kehricht mit einem unteren Heizwert von 8500 kJ/kg (entsprechend Braunkohle) benötigt man etwa 5600 Nm^3_f Luft, und es entstehen rund 300 kg Schlacke und 7800 kg Rauchgas mit 20 kg Flugasche, 7 kg HCl, 1,3 kg SO_2, 1,6 kg NO_x, 0,05 kg HF, 0,05 kg Pb+Zn-Oxyd, 0,002 kg Hg (Bild 3). Wie aus Tab. 2 und 3 hervorgeht, werden die schädlichen Schwermetalle hauptsächlich in der Schlacke und im Flugstaub zurückgehalten. Je besser die filternde Staubabscheidung, heute bei 10-5 mg/Nm^3 liegend, desto höher die Schwermetallkonzentration im Flugstaub. Es ist dann auch dieser Filterstaub, der heute als «Sondermüll» behandelt werden muss. Die Spuren an Dioxine und Furane werden erstens von Fachleuten allgemein als zu gering bezeichnet, um to-

Bild 3. Pro Einwohner und Jahr fallen in den Kehrichtverbrennungsanlagen im Kanton Zürich durchschnittlich 420 kg Abfall an. In der Umgebung von Kehrichtverbrennungsanlagen kann es zu einer erheblichen Belastung durch Gase und Metallstäube kommen. Bei einer Anlage mit Rostofen und trockener Abgasentstaubung mittels Elektrofilter gelten bei einem Staubauswurf von 25 mg/m^3 die obigen Werte. Grenzwert für Staub ist 50 mg/m^3. Neuere Anlage erreichen Werte von weniger als 10 mg/m^3



Die Angaben beziehen sich auf einen CO_2-Gehalt von 7 Vol.-%		*Durchschnittlicher Schadstoffgehalt des Reingases*		*Schadstoff-ausstoss*
		mg/m³	ppm	kg/t Müll
Staub [*]				
Bei einem Nominaldurchsatz der Anlage von:				
Klasse I < 0,5 t/h		100	-	0,56
Klasse II > 0,5 t/h		50	-	0,28
Schadgase				
Chlorwasserstoff	HCl	954	585	6,94
Schwefeldioxid	SO_2	175	61	1,29
Stickoxide	NO_2	180	87	1,58
Fluorwasserstoff	HF	2,3	2,6	0,02
Kohlenmonoxid	CO	94	75	0,66
Kohlenwasserstoff	CH	14	240	0,10
Schwermetalle				g/t Müll
Zinkoxid		7	-	45
Blei-(II-)oxid		1,7	-	11
Kupfer		0,3	-	2,5
Bariumoxid		0,3	-	1,5

Im Flugstaub und Rauchgaskondensat zu erwartende Schwermetalle		g/kg Flugstaub		µg/Liter Rauchgas-kondensat
		Streubereich	Mittel	(Einzelmessungen)
Eisen	Fe	19-189	70	3 100
Chrom	Cr	1-12	3	100
Nickel	Ni	Einzelmessung	0,15	300
Zinn	Sn	11-17	15	6 500
Zink	Zn	50-118	82	20 000
Kupfer	Cu	4-26	10	2 000
Blei	Pb	24-41	33	1 200
Cadmium	Cd	1-2	1,5	12,5
Antimon	Sb	2-4	3	keine Messungen
Barium	Ba	1-2	1,2	keine Messungen
Quecksilber	Hg	2-4	3,3	keine Messungen
pH-Wert des Rauchgaskondensates				0,67

Bemerkung:
Die vorstehenden Angaben verstehen sich als Richtwerte von Messerfahrungen von Anlagen ohne Nasswäsche. Die Angaben über die Staubkonzentration (*) entsprechen den neuesten Richtlinien über die Luftreinhaltung beim Verbrennen von Siedlungsabfällen vom 18. Februar 1982 des Eidgen. Departements des Innern. Bei vielen neuzeitlichen Müllverbrennungen werden die Richtlinien über die zulässigen Staubkonzentrationen schon heute erfüllt bzw. unterschritten

Tabelle 2. Emissionskennwerte von Müllfeuerungen mit Elektrofiltern

Physikalische Eigenschaften [12]	
Wassergehalt (WG)	etwa 28%
Trockenmasse (TS)	etwa 72%
Schüttgewicht (nass)	etwa 1,24 t/m³
Streubereich der Glühverluste (GV), bezogen auf TS	etwa 1 bis 12%
Mittlerer Glühverlust (GV), bezogen auf TS	etwa 5%
Spezifische Grobeisenmenge	etwa 135 kg/t Schlacke
Schüttgewicht des losen Grobeisens	etwa 200 kg/m³
Chemische Eigenschaften [11] Konzentration bez. auf TS in g/kg (95% Vertrauensbereich, ausgedrückt als Spannweite)	
Carbonat, CO_3^{2-}	22-30
Chlorid, Cl^-	3,0-3,8
Ammonium, NH_4^+	1,3-1,5
Phosphat, PO_4^{3-}	33-47
Siliziumdioxid, SiO_2	361-401
Eisen, Fe	39-45
Chrom, Cr	0,18-0,24
Nickel, Ni	0,12-0,16
Zink, Zn	4,8-5,6
Kupfer, Cu	2,2-3,0
Blei, Pb	1,4-1,6
Cadmium, Cd	0,014-0,020
Mangan, Mn	1,18-1,32
Cobalt, Co	0,018-0,02
Natrium, Na	8,2-9,4
01067Kalium, K	3,6-4,0
Calcium, Ca	46-50
Magnesium, Mg	5,2-5,6
Glühverlust (600 °C, 3h)	51-59
C in AOS	19-21

Tabelle 3. Richtwerte der Schlackeneigenschaften

Tabelle 4. Jährlicher Abfallanfall in der Schweiz

Angefallene Menge 1985	8 000 000 t
Aufteilung nach Klassen für 1981	
Klärschlamm (Faulschlamm)	2 600 000 t
Siedlungsabfälle	2 400 000 t
Glas, Papier, Karton	500 000 t
Gewerbe und Industrie, Land- und Forstwirtschaft	250 000 t
Tierkörper	140 000 t
Bauschutt	600 000 t
Altautos	85 000 t
Altöl	50 000 t
Altpneus	45 000 t
	6 670 000 t

Ferner: mehr als 120 Mio. Alu-Büchsen

Gewichtung der Abfälle nach Schadstoff-«Vehikel»

1. Siedlungsabfälle
2. Altautos
3. Bauschutt
4. Klärschlamm
5. Sondermüll

xisch gefährlich zu sein und sind zweitens sehr schlecht wasserlöslich.

Das Verhalten von (Schwer-) Metallen im Verbrennungsprozess ist nur bedingt theoretisch erfassbar. Man kennt zwar deren Verdampfungstemperaturen, weiss aber oft nicht, in welcher chemischer Form sie ins Rauchgas gelangen und sich an Flugstäuben niederschlagen. Dabei ist es gerade die Art der chemischen Verbindung, die entscheidend ist für die Toxizität. Im allgemeinen bilden verschiedene Metalle flüchtige Chloride, oder sie verlassen den Brennstoff Kehricht als Oxide, wenn sie nicht im Feuerungsrost in der Schlacke sintern und damit inertisiert werden.

In der Schweiz werden heute noch rund 20% der jährlich anfallenden 2,5 Mio. t Siedlungsabfälle direkt in Deponien gelagert. Aus den zu verbrennenden 2 Mio. t entstehen 600 000 t Schlacke, 40 000 t Filterasche/-staub und zukünftig 5-10 000 t Rückstände aus der weitergehenden Rauchgasreinigung. Die im Kehricht enthaltenen Schwermetalle werden durch die Verbrennung bekanntlich nicht vernichtet sondern in Chloride, Oxide, Sulfate, Carbonate oder Hydroxide überführt und sind nur auf die einzelnen Verbrennungsrückstandsfraktionen umverteilt worden.

Im jährlichen Abfallanfall in der Schweiz, 1981 total 6,67 Mio. t, 1985 rund 8 Mio. t, werden die Siedlungsabfälle mengenmässig vom Klärschlamm übertroffen, stehen aber betreffend Schadstoff-«Vehikel» an erster Stelle. In Tab. 4 sind die rund 200 000 t Sondermüll in der Klasse «Gewerbe und Industrie, Land- und Forstwirtschaft» enthalten.

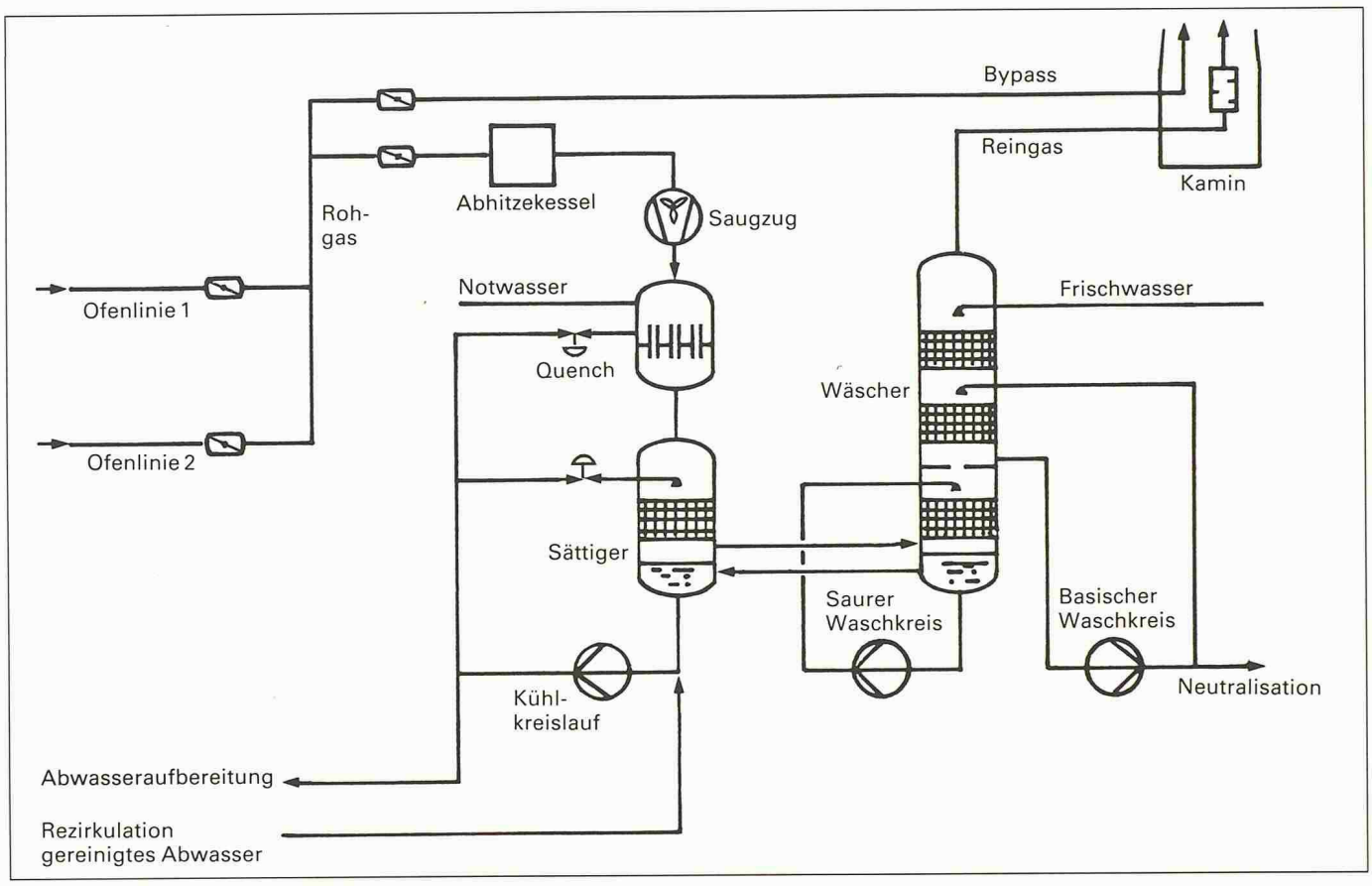


Bild 4. Prinzipschema einer mehrstufigen Rauchgaswäsche

Anforderungen der LRV

Die Luftreinhalteverordnug (LRV) vom 16. Dezember 1985 ist am 1. März 1986 in Kraft getreten. Sie legt in einem speziellen Abschnittsanhang die Bestimmungen fest, die für Anlagen zum Verbrennen von Siedlungs- und Sonderabfällen gelten. Für die in Frage kommenden Schadstoffe gelten für Kehrichtverbrennungsanlagen folgende Grenzwerte:

50 mg Staub/Nm³
30 mg HCl/Nm³ (trocken, 11% O_2)
5 mg HF/Nm³
5 mg Pb+Zn/Nm³
0,1 mg Cd/Nm³
0,1 mg Hg/Nm³

SO_2 und NO_x haben grosszügigere Emissionslimiten, so dass sie nicht kritisch sind für Rauchgasreinigungsanlagen, diese aber gleichwohl einige DESOX- und DENOX-Arbeit leisten können.

Heute gehen Ausschreibeunterlagen für KVA-RGR-Projekte zum Teil erheblich weiter als die LRV und stossen damit an die chemischen und physikalischen Grenzen der zur Zeit verfügbaren Verfahren. Aus umwelttechnischer Sicht ist jede Verbesserung der Emissionssituation zu begrüssen, aus Gründen der Zuverlässigkeit des Gesamtsystems müssen aber die Betriebsbedingungen einer RGR der Feuerung angepasst werden und nicht umgekehrt.

Neueste praktische Erfahrungen mit KVA/MVA-RGR belegen, dass folgende Reingaswerte gut erreicht werden können:

Staub	: 5–10	mg/Nm³
HCl	: 5–10	mg/Nm³
HF	: 1	mg/Nm³
SO_2	: 100	mg/Nm³
Pb+Zu	: 1	mg/Nm³
Cd	: 0,05	mg/Nm³
Hg	: 0,05	mg/Nm³

Die LRV-Anforderungen geben keine Hinweise über eine optimale Methode zur RGR bei KVA. Auch sind die betriebliche Bewährung noch zu kurz und die anlagebedingten Randbedingungen zu verschieden. Vor allem aber ist die Rückstandsentsorgung weder gesetzgeberisch noch verfahrenstechnisch gelöst. Stützt man sich nicht nur auf die schweizerischen, sondern auf die deutschen Erfahrungen mit RGR bei KVA/MVA, können vorläufige Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Rein trockene Verfahren ohne Temperaturabsenkung können auch mit Gewebefiltern die LRV nicht erfüllen.
2. Quasitrockene Verfahren erfüllen mit Elektrofiltern die LRV genau so gut wie Nassverfahren.
3. Verfahrenstechnisch sinnvoll sind Verbesserungen in Richtung SO_2/SO_3-Emissionsreduktion.

Neben der RGR sollte man Verbesserungen im feuerungstechnischen Bereich vornehmen: höhere Feuerraumtemperaturen, längere Verweilzeiten, noch homogenerer Ausbrand, usw. mit dem Ziel, halogenierte Kohlenwasserstoffe unter geringst möglicher Dioxin- und Furan-Bildung abzubauen.

Rauchgasreinigungsverfahren

RGR für KVA basieren vorwiegend auf dem Prinzip der Rauchgaswäsche mit Kalksuspensionen, $Ca(OH)_2$ oder CaO, und sie sind aus der analogen Aufgabenstellung für die Rauchgasentschwefelung kohlegefeuerter Anlagen entstanden. Da Rauchgaswäscher vorerst das Schadstoffproblem aus der Luft ins Wasser verlagerten, betriebliche Probleme (Verkrustungen, Apparatekorrosion) auftraten und ein beträchtlicher Energiemehraufwand nötig war, versuchte man, halbtrockene und trockene Sorptionsverfahren zu entwickeln und in den Markt einzuführen, teilweise mit gutem Erfolg.

Nassverfahren

Diese Verfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass die Rauchgase, die den Kessel-Economizer mit 220–280 °C ver-

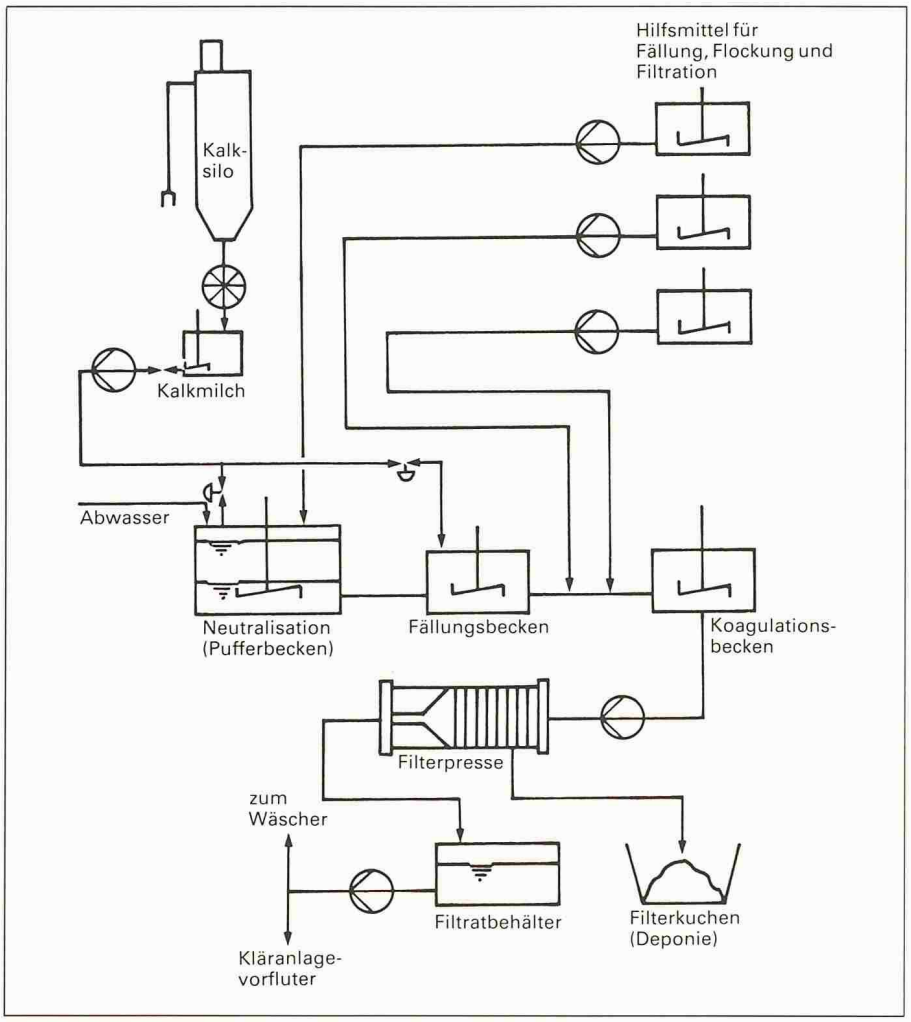


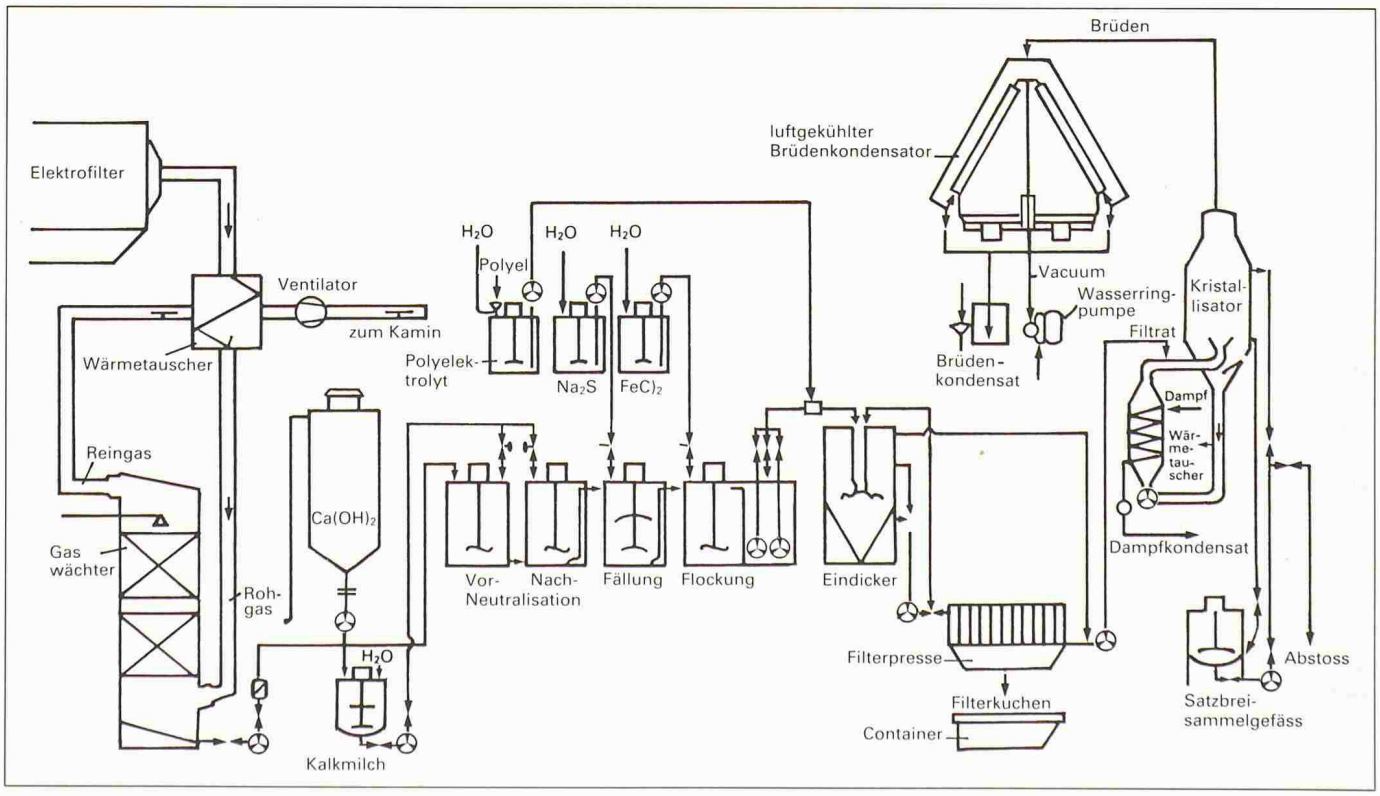
Bild 5. Prinzipschema einer Aufbereitungsanlage für Abwasser aus Rauchgaswaschanlage

lassen, bis auf Sättigungstemperatur mittels Wärmetauscher und Quench abgekühlt und die Schadstoffe mittels Kalkmilch und/oder Natronlauge chemisch ausgewaschen werden. Die Rauchgaswäsche besteht aus verschiedenen sog. Waschstoffen, wobei jeder eine bestimmte Aufgabe zukommt (Bild 4):

Die 1. Waschstufe ist die Quenchstufe, in der Feinstäube, Schwebstoffe und Aerosole abgeschieden werden. Die Rauchgase selbst werden durch die Verdampfung von Wasser bis zur Sättigungstemperatur gekühlt. Es findet auch bereits eine Schadstoffabsorption von vorwiegend HF statt. Diese Rauchgaskonditionierung in der Quenchstufe ist bei den meisten Anbietern als Gleichstrom-Apparat ausgebildet.

Die 2. und weitere Waschstufen sind üblicherweise in einer Gegenstromkolonne vereinigt. In einem sog. sauren Waschkreis mit $Ca(OH)_2$ als Absorptionsmittel wird vorwiegend HCl ausgewaschen. Der pH-Wert muss i. a. unter 2 liegen, damit Hg abgeschieden wird. Für die Abscheidung von SO_2, die in der Praxis in KVA-RGR kaum nötig ist, muss der pH-Wert stark angehoben werden, neutral oder sogar leicht basisch sein. Um bei pH 6–8 waschen zu können, verwendet man vorwiegend Natronlauge als Absorptionsmittel. In der Wäscher-Absorptionskolonne können noch weitere Stufen vorhanden sein, nämlich eine Oxidations- und De-

Bild 6. Rauchgasreinigung mit Abwasserbehandlung, Feststoffabtrennung und Eindampfung



nox-Stufe sowie eine Tropfenabscheiderstufe. Die Absorption der einzelnen Schadstoffkomponenten hängt also wesentlich ab von der Art der Waschflüssigkeit, dem pH-Wert im Waschkreislauf sowie Partialdruck und Löslichkeit der Schadgaskomponente. Dementsprechend sind auch die Reaktionsmittel und -produktanfälle verschieden (Tab. 5).

Wenn in einer Kolonne gleichzeitig mit verschiedenen Absorptionsmitteln gearbeitet werden muss, verwendet man anstelle von reinen Sprühdosen-Sektionen, Füllkörper- oder Packungssektionen mit Einbauten, die speziell für Suspensionen geeignet sind.

Das salz-, aber wenig schwermetallhaltige Abwasser muss behandelt werden. In der Abwasserbehandlung können einzig die wenig löslichen Schwermetallsalze, das Fluorid und eventuell Sulfite/Sulfate ausgefällt, eingedickt und abfiltriert werden. Im wesentlichen beschränkt sich diese aber auf eine Neutralisation, dass das $CaCl_2$ in die Kanalisation und durch diese hindurch in den Vorfluter (See oder Fluss) geht (Bild 5). Mengenmässig ist die Salzfracht beachtlich.

Sogenannte «abwasserlose» Nassverfahren erfordern eine Eindampfung der Abwässer. Diese kann wie z. B. im Ciba Geigy/Von Roll-Verfahren in einem dem Nasswäscher vorgelagerten Sprühtrockner mit den noch heissen, ungereinigten Rauchgasen erfolgen oder in einer Eindampfung und Aufkonzentrierung in mehreren Stufen bis zur Kristallisation (Bild 6).

Quasitrockene Verfahren

Diese Verfahren sind dadurch gekennzeichnet, dass die Reagenzien in flüssigem Aggregatszustand in Form von Kalkmilch oder evtl. Natronlauge mit einem Düsensystem oder schnelldrehenden Sprühköpfen in einen zylindrischen oder kegelförmigen Reaktionsraum eingebracht werden. In vorteilhafter Weise hat man sich bei der Verfahrensentwicklung auf die Erfahrungen im Sprühtrocknerbau abgestützt (Bild 7). Die erzielbaren Reingaswerte und der Chemikalienverbrauch hängen wiederum von der Reaktionstemperatur ab. Die durch die Wasserverdampfung erzielte Temperaturabsenkung beträgt zwischen 80 und 120 °C. Durch teilweise Rezirkulation von Altkalk/Reaktionsprodukt ist der Kalkverbrauch heute unter dem 1,5fachen stöchiometrischen Wert. Die mit dem NIRO-Verfahren in der KVA, Josefstrasse, Zürich, erzielten Reingaswerte können als die zurzeit besten in der Schweiz erzielten Werte bezeichnet werden (Tab. 6).

Schadstoff	+	Reaktionsmittel	→	Reaktionsprodukt		
1 kg HCl	+	1,01 kg $Ca(OH)_2$	→	1,52 kg $CaCl_2$	+	0,49 kg H_2O
1 kg HCl	+	0,77 kg CaO	→	1,52 kg $CaCl_2$	+	0,25 kg H_2O
1 kg HCl	+	1,10 kg NaOH	→	1,60 kg NaCl	+	0,50 kg H_2O
1 kg HF	+	1,85 kg $Ca(OH)_2$	→	1,95 kg CaF_2	+	0,90 kg H_2O
1 kg HF	+	1,40 kg CaO	→	1,95 kg CaF_2	r	0,45 kg H_2O
1 kg HF	+	2,00 kg NaOH	→	2,10 kg NaF	+	0,90 kg H_2O
1 kg SO_2	+	1,16 kg $Ca(OH)_2$	→	1,88 kg $CaSO_3$	+	0,28 kg H_2O
1 kg SO_2	+	0,88 CaO	→	1,88 kg $CaSO_3$		
1 kg SO_2	+	1,25 kg NaOH	→	1,94 kg Na_2SO_3	+	0,28 kg H_2O
1 kg SO_2	+	0,63 kg NaOH	→	1,63 kg NaHSO		
1 kg SO_3	+	0,93 kg $Ca(OH)_2$	→	1,70 kg $CaSO_4$	+	0,23 kg H_2O
1 kg SO_3	+	0,70 kg CaO	→	1,70 kg Ca SO_4		
1 kg SO_3	+	1,00 kg NaOH	→	1,78 kg Na_2SO_4		

Tabelle 5. Stöchiometrisch ermittelte Salzanfälle bei der Rauchgasreinigung

Bild 7. Rauchgasreinigung mit Sprühreaktor, Filtration und Reststoffzwischenlagerung – Halbtrockenverfahren

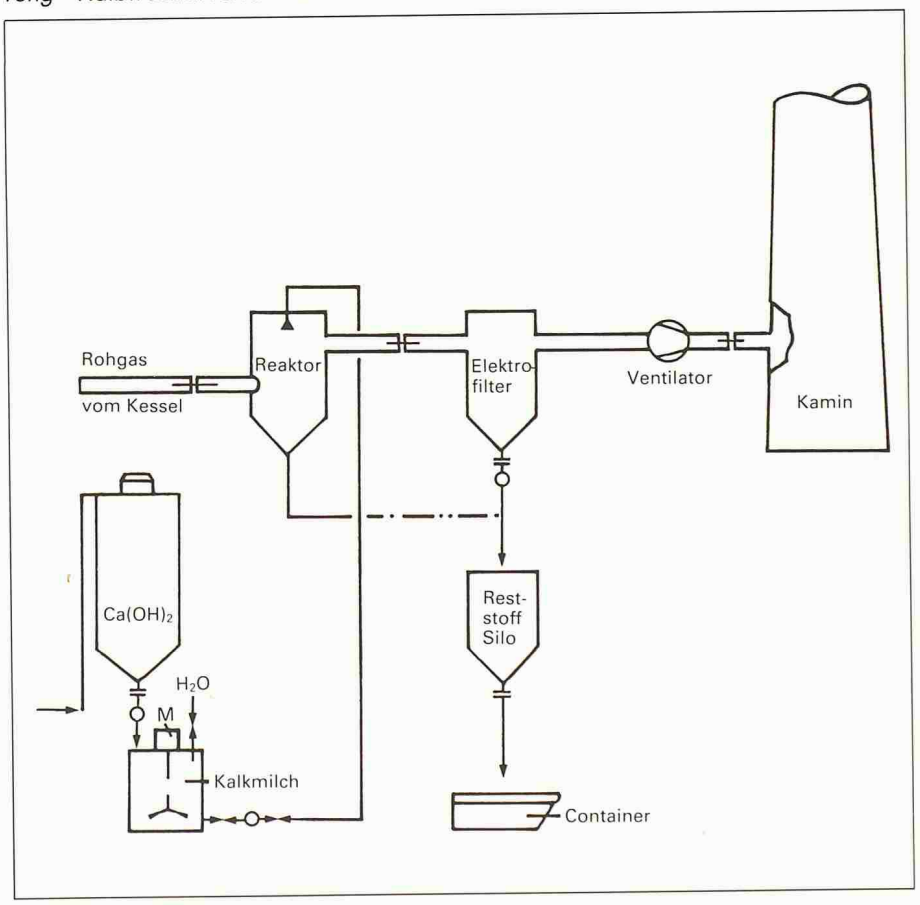


Tabelle 6. Empa-Messungen der Rauchgase

Verunreinigung	*Einheit*	*Gas vor Reinigung*	*Gereinigtes Gas*	*Grenzwert LRV*
Staub	mg/m³	3300	>5	50
Blei und Zink	mg/m³	92	0,5	5
Cadmium	mg/m³	1,24	0,01	0,1
Quecksilber	mg/m³	0,32	0,03	0,1
Fluoride anorg.	mgHF/m³	6,7	16,5	5
Chloride anorg.	mgHCl/m³	845	57	30
Schwefeldioxid	mgSO_2/m³	195		500

Wie aus der Tabelle hervorgeht, werden die in der Luftreinhalteverordnung (LRV) enthaltenen Grenzwerte bei weitem unterschritten.

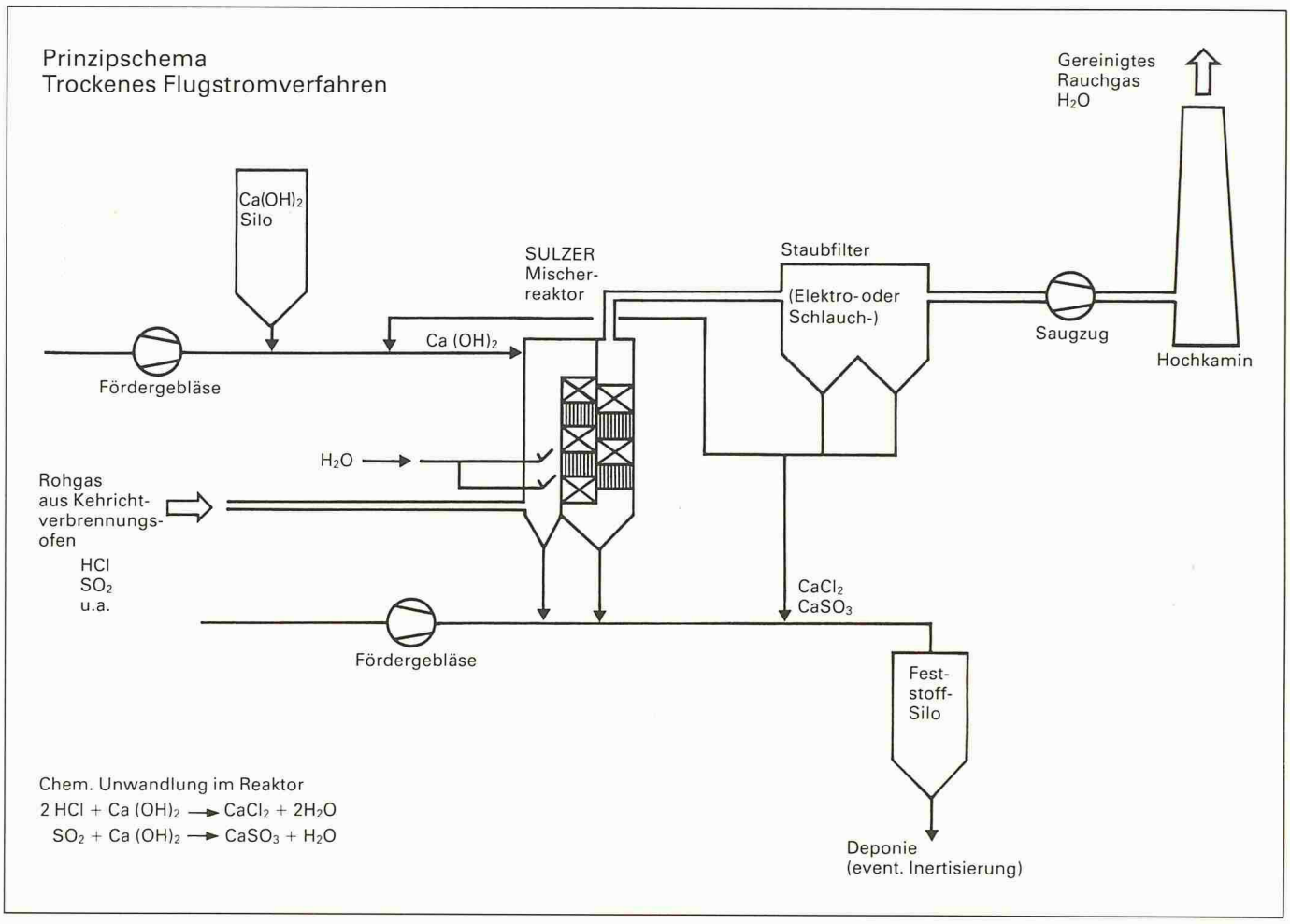
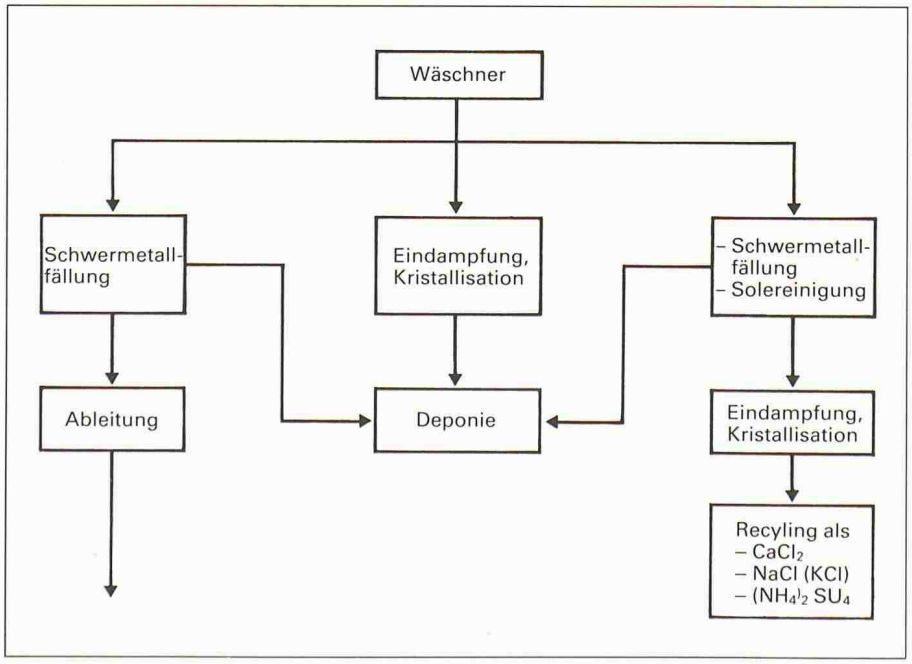


Bild 8. Prinzipschema des Trockenen Flugstromverfahrens

Trockene Verfahren

Die sog. «Trockenen Verfahren» sind dadurch gekennzeichnet, dass die Reagenzien, üblicherweise Kalkhydroxid ($Ca(OH)_2$), im trockenen Aggregatzustand in einem Reaktor mit dem zu reinigenden Rauchgas vermischt werden. Die Beherrschung einer homogenen Verteilung der Reagenzien, hohe Verweilzeit und Unterdrückung von Bypass-Strömungen sind spezifische Verfahrensmerkmale. Das gleiche gilt für die Rezirkulation von Altkalk, wodurch vorübergehende Zwischenlagerung in ihrer Wirksamkeit erhöht werden kann (Bild 8). Vorteilhaft ist u. a. die partielle, simultane SO_x- und NO_x-Abscheidung, nachteilig der leicht höhere Reagenzienverbrauch. Eine solche Anlage ist verfahrenstechnisch sehr einfach und problemlos zu betreiben, auch wenn es heute notwendig ist, vor dem Reaktor eine Rauchgaskonditionierung, d. h. Temperaturabsenkung auf unter 140 °C vorzunehmen, damit Quecksilber abgeschieden wird. Die Temperaturabsenkung bringt eine erhöhte Kalkreaktivität und ist der Hauptgrund für die Reduktion des Reagenzienverbrauchs. Die erzielten Reingaswerte in der KVA Niederurnen sind ebenso hervorragend wie beim NIRO-Verfahren.

Bild 9. Behandlung der Waschwasser nach Rauchgasreinigungs-Wäschern



Reststoffbehandlung und Entsorgung

Es ist inzwischen klar geworden, dass es eine bezüglich Reststoffe problemlose, ja ideale RGR nie geben wird. In einzelnen Produktionsprozessen mag ein internes Recycling möglich sein und so

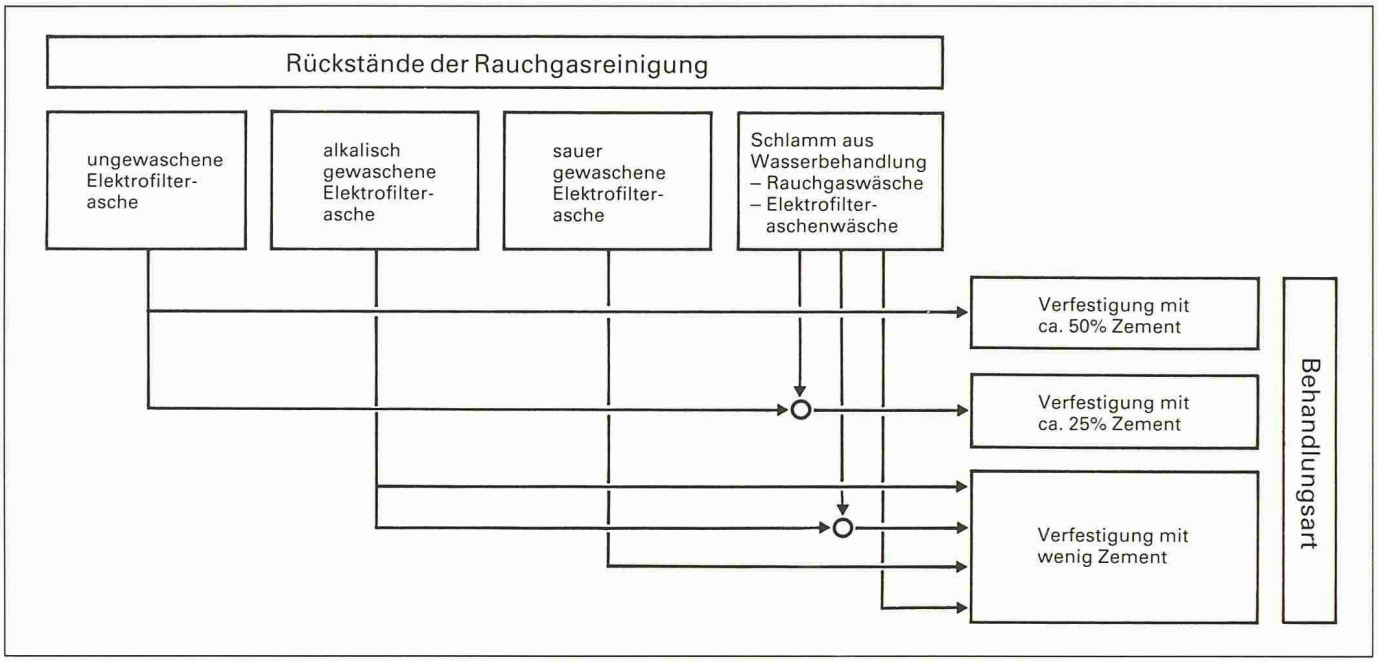


Bild 10. Entsorgung von Elektorfilterasche und Rückständen der weitergehenden Rauchgasreinigung

die Schadstoffabgabe an die Umwelt reduzieren.

Für die Behandlung der Waschwasser nach RGR-Wäschern gibt es grundsätzlich 3 Möglichkeiten (Bild 9):
1. Schwermetallfällung (→Deponierung) und die Salzfracht geht ins Abwasser, wobei Sulfit/Sulfat abfiltriert werden kann.

2. Eindampfung und Kristallisation mit anschliessender Feststoffdeponierung.

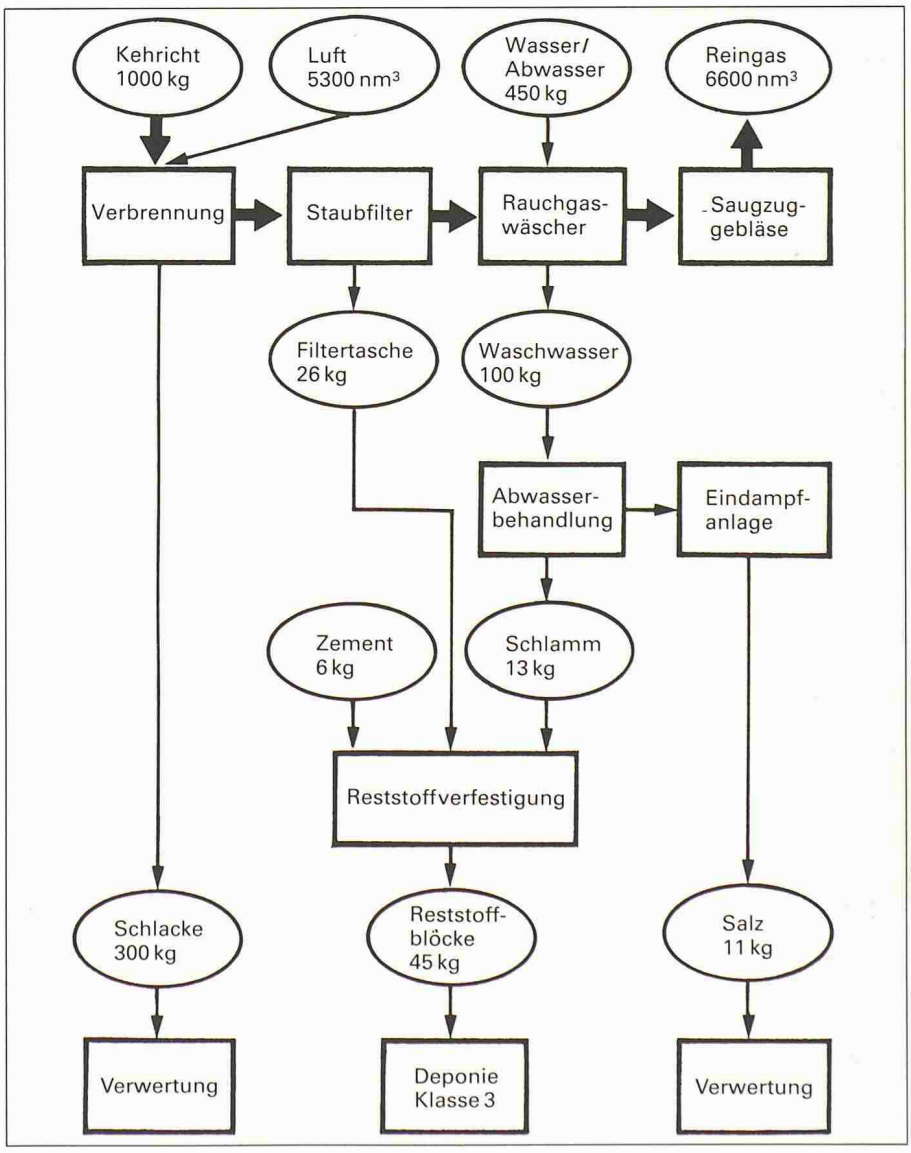
3. Schwermetallfällung (→Deponierung), Solereinigung, dann Eindampfung, Kristallisation und Recycling als $CaCl_2$, NaCl (KCl), $(NH_4)_2SO_4$.

Zurzeit ist man besonders in der BRD, zunehmend aber auch in der Schweiz bemüht, die Reaktionsprodukte der RGR aufzubereiten und via Recycling zu entsorgen. An Recyclingprodukte werden natürlich die gleich strengen Anforderungen bezüglich chemischer Zusammensetzung, Reinheit, Korngrösse, Farbe, usw. gestellt wie an normale Produkte.

Der Reststoffstrom einer KVA, der heute besondere Probleme bereitet, setzt sich zusammen aus der Elektrofilterasche sowie den Rückständen aus der weitergehenden Rauchgasreinigung.

Es ist das erklärte Ziel des BUS und im Leitbild der schweizerischen Abfallwirtschaft festgehalten, Elektrofilterasche und RGR-Rückstände so zu lagern, dass langfristig keine Gefährdung für Gewässer und Boden entsteht. Das verlangt die inerte Lagerung in einer Monodeponie.

Bild 11. Modernes Entsorgungskonzept für eine Kehrichtverbrennungsanlage dargestellt für eine Tonne Kehricht



Für die Entsorgung von Elektrofilterasche und von RGR-Rückständen sind in Bild 10 3 Wege aufgelistet:

1. Verfestigung der ungewaschenen Asche (d. h. Reststoff mit hohem Chloridgehalt)

2. Verfestigung der Asche nach Auswaschen der Chloride (d. h. Reststoff mit tiefem Chloridgehalt)

3. Verfestigung der mit Säure gewaschenen Asche (d. h. Reststoffe mit geringerem Chlorid- und Schwermetallgehalt)

SULZER baut zurzeit mit Unterstützung des BUS, vom Kt. Zürich und verschiedenen Städten getragen, in deren Auftrag eine Pilotanlage zur Behandlung von Filterasche- und RGR-Rückständen. Im wesentlichen sollen die Salze abgetrennt und die schwermetallhaltigen Filterkuchen verfestigt und anschliessend deponiert werden. Um die Chloride möglichst vollständig auszuwaschen, wird bei der technischen Prozessführung mit Vorteil ein Auswaschverfahren mit mehreren, im Kreislauf und Stufengegenstrom geführten Waschflüssigkeiten gewählt, wobei nur in der letzten Wäsche Frischwasser eingesetzt wird.

Ungewaschene Elektrofilterasche hat einen Chloridanteil von 6–8% und benötigt für eine genügende Verfestigung bis zu 50% Tonerde-Schmelzzement, wobei Eluat im Sickerwasser einer Deponie immer noch überkritisch ist im Schwermetallgehalt. Wenn das Chlorid ausgewaschen wird, ist nur noch ein Bindemittelanteil von 15–20% nötig, und beim so behandelten und verfestigten Material sind sehr kleine Schwermetallgehalte im Eluat zu erwarten, weit unter den Werten der Einleitungsbedingungen der Verordnung über Abwassereinleitungen. Das erklärte Ziel, ein deponierbares verfestigtes Elektrofilter- und RGR-Rückstandsmaterial herzustellen, lässt sich aufgrund der heute vorliegenden Untersuchungen und Arbeit vieler unterschiedlicher Fachstellen als erreichbar erklären.

Dass eine solche Verfahrenstechnik einer chemischen Fabrik gleichkommt, versteht sich von selbst. Es wird darum wenig sinnvoll sein, diese jeder KVA anzuhängen. Falls dieser Weg sich als gangbar herausstellen sollte, wird man in der Schweiz 2–3 zentrale Anlagen benötigen, um die jährlich anfallenden 50 000 t Rückstände aufzuarbeiten und zu verfestigen.

In Bild 11 ist für 1 t Kehricht dargestellt, mit welchen Mengenströmen man zu rechnen hat, wenn ein modernes Kehrichtverbrennungs- und Entsorgungskonzept realisiert werden will. Realistischerweise muss man zugeben, dass ein solches Anlagenkonzept nicht einfach zu verwirklichen und dann zu betreiben ist. Aber unsere Umwelt ist es wert, minimalst mit Schadstoffen belastet zu werden, und wenn Rückstände anfallen, diese geordnet und überwacht zu deponieren.

Adresse des Verfassers: Dr. *A. Stücheli*, Produktbereich Trenn- und Mischverfahren, Gebrüder Sulzer AG, Winterthur.

Wettbewerbe

Stadthaus Rapperswil

Die politische Gemeinde Rapperswil, vertreten durch den Stadtrat, veranstaltet einen öffentlichen Projektwettbewerb für ein neues Stadthaus auf dem Grundstück 352 an der Bachstrasse. *Teilnahmeberechtigt* sind alle Architekten, die seit dem 1. Januar 1987 Wohn- oder Geschäftssitz im Kanton St. Gallen haben oder das Bürgerrecht von Rapperswil besitzen. Für sechs bis sieben *Preise* und für allfällige Ankäufe stehen dem Preisgericht 80 000 Fr. zur Verfügung. *Fachpreisrichter* sind Hansjörg Gügler, Zollikerberg, Kurt Huber, Frauenfeld, Hans Spitznagel, Zürich, Fritz Tissi, Schaffhausen, Willi Egli, Zürich, Ersatz. *Aus dem Programm:* Die gesamte Stadtverwaltung soll in einem Neubau betrieblich zusammengefasst und organisiert werden. Die Restfläche ist im Verhältnis von etwa 5:3 auf Wohnungen und Büros aufzuteilen. *Raumprogramm:* Foyer, Einwohneramt, Sozialamt 250 m²; Finanzamt, Steueramt EDV, Betreibungsamt, Polizei, Veloeinstellraum 540 m²; Stadtrat, Stadtammann, Stadtratskanzlei, Grundbuchamt, Trauzimmer 350 m²; technische Betriebe, Reserve 310 m²; Archive, Material, Tresor, Personalaufenthalt 400 m²; Zivilschutz, Parking. Das *Wettbewerbsprogramm* kann ab 1. Februar beim Sekretariat des Stadtammannamtes gratis bezogen werden: Die *weiteren Unterlagen* können ab gleichem Datum an derselben Stelle gegen Hinterlegung von 300 Fr., einzuzahlen auf Postcheckkonto PC 90-1244-3/St. Gallen, Vermerk «Projektwettbewerb Stadthaus», bezogen werden. *Termine: Fragestellung bis 11. März, Ablieferung der Entwürfe bis 1. Juli, der Modelle bis 15. Juli 1988.*

Quartiergestaltung des Ortszentrums von Schaan FL

Die Gemeinde Schaan FL veranstaltete einen öffentlichen Ideenwettbewerb für die neue Quartiergestaltung des Ortszentrums Schaan innerhalb der Kirchstrasse sowie Teilen der Reberastrasse und der Feldkircherstrasse. *Teilnahmeberechtigt* sind alle Fachleute mit Wohn- und Geschäftssitz seit mindestens dem 1. Januar 1986 im Fürstentum Liechtenstein oder in den Kantonen St. Gallen und Graubünden sowie alle Ziviltechniker und planenden Baumeister in Vorarlberg. Das *Preisgericht* setzt sich wie folgt zusammen: Lorenz Schierscher, Schaan, Vorsitz; Albert Beck, Baubüro Schaan; Lorenz Heeb, Gemeinderat, Schaan; Dr. Heinz Meier, Anrainer, Schaan; die Architekten Kurt Huber, Frauenfeld; Adrian Meyer, Baden; Lorenz Peter, Innsbruck; Walter Walch, Landesbauamt, Vaduz; Ersatzpreisrichter sind Dr. Norbert Brunhart; Klaus Vogt, Architekt, Scherz. Für die *Prämiierung* von fünf bis sieben Projekten sowie für allfällige Ankäufe stehen dem Preisgericht 100 000 Fr. zur Verfügung.

Aus dem Programm: Für das Wettbewerbsgebiet sind im Rahmen dieses Ideenwettbewerbes die folgenden Aufgaben zu bearbeiten:

- Siedlungskonzept
- Überbauungskonzept mit Modell
- Erläuterungsbericht

Das Siedlungskonzept bildet die Grundlage für das Überbauungskonzept und soll Aufschluss über die übergeordnete räumliche und funktionale Gestaltung des Areals geben. Geforderte Angaben: Flächennutzungsarten, Erschliessungsprinzip, räumliche Siedlungsstruktur. Das Überbauungskonzept soll Angaben über projektierte Bauten, Erschliessung, Verkehr, Parzellierung, Aussenraumgestaltung und gestalterische Absichten aufzeigen. Der Erläuterungsbericht soll Idee, Hauptzielsetzungen und Grundsätze für die Realisierung enthalten. Das *Wettbewerbsprogramm* kann bei der Gemeinde Schaan, Baubüro, FL-9494 Schaan (Tel. 075/2 30 77) gratis bezogen werden. Die *kompletten Wettbewerbsunterlagen* werden nach Einzahlung von 350 Fr. (3000 öS) bei der Gemeindekasse Schaan, Postcheckamt St. Gallen, Konto-Nr. 90-9824-8, unter dem Kennwort «Wettbewerb 100 Jahre Pfarrkirche Schaan» den Bewerbern zugesandt. Die *Modellunterlage* muss im Baubüro Schaan abgeholt werden. *Termine*: Fragestellung bis 13. Februar, Ablieferung der Entwürfe bis 22. April, der Modelle bis 6. Mai 1988.

Europäischer Wohnungsbau-Wettbewerb

Der Wettbewerb wird durch die Stiftung Europäischer Architektur-Wettbewerb (SEAW) organisiert mit dem Ziel, Export und Austausch von Fachwissen zum Thema «Flachbau in hoher Verdichtung» durch internationale Zusammenarbeit zu fördern.

Austausch von Wissen, Kreativität und erneuernde Techniken werden dringend gefordert, da die meisten Hindernisse auf dem Sektor des Wohnungsbaus in allen Ländern Westeuropas einander gleichen. Mit diesem Wettbewerb werden Architekten und Bauunternehmer aufgefordert, neue Lösungen für gemeinsame europäische Probleme zu entwickeln. Sie sollten Ideen entwickeln für Städtebau und Wohnungen; angemessene Wohnungen für die Gruppen mit niedrigstem Einkommen verwirklichen; Wohnungen mit bleibenden Wert schaffen.