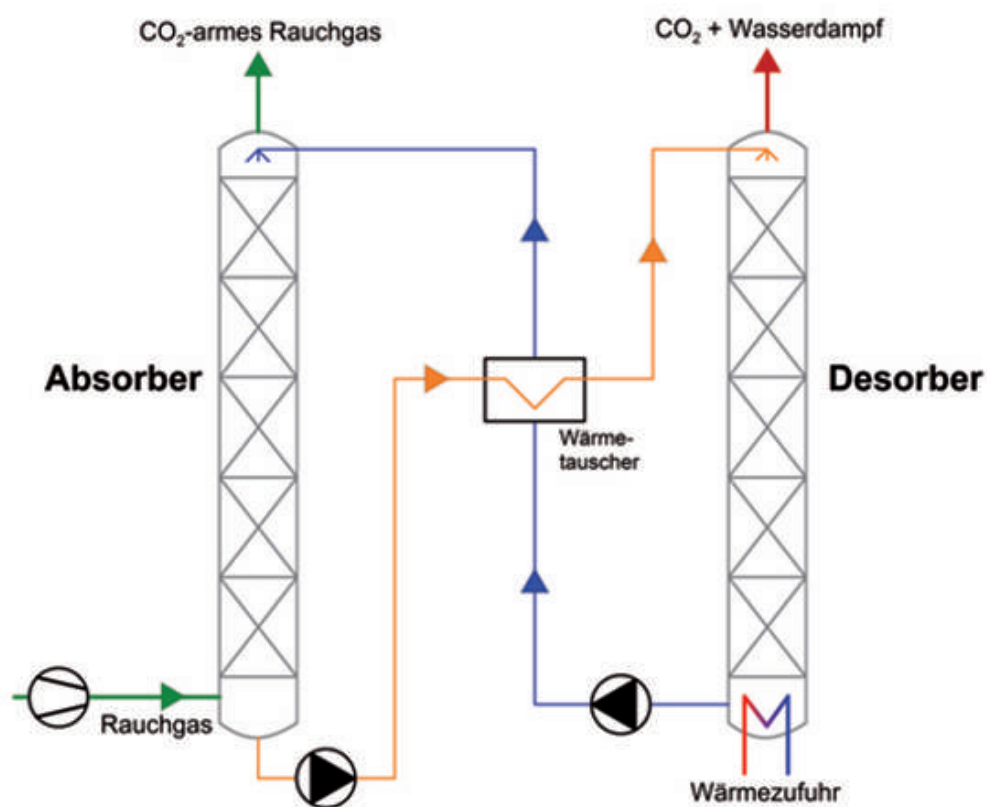


Einfluss der Molekülstruktur auf die CO_2 -Abtrennung mit wässrigen Aminlösungen aus Rauchgasen fossil befeuerter Kraftwerke



Einfluss der Molekülstruktur auf die CO₂-Abtrennung mit wässrigen Aminlösungen aus Rauchgasen fossil befeuerter Kraftwerke

**Von der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines Doktors der
Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung**

**vorgelegt von
Kevin Brechtel
aus Annweiler**

**Hauptberichter: Prof. Dr. techn. Günter Scheffknecht
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Görner**

Tag der mündlichen Prüfung: 21.02.2011

**Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK)
der Universität Stuttgart
2011**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2011

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2011

978-3-86955-690-1

Dissertation der Universität Stuttgart - D93

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2011

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2011

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86955-690-1

DANKSAGUNG

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Mitarbeiter am Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik der Universität Stuttgart. Herrn Prof. Scheffknecht möchte ich für die Ratschläge zu dieser Arbeit und die Übernahme des Hauptberichts danken. Ebenso gilt mein Dank Herrn Prof. Görner für die Übernahme des Mitberichts.

Herzlich danken möchte ich Herrn Dr. Unterberger für die – wenn auch kurz – gemeinsame Zeit am IFK. Großen Dank gebührt ihm für die ausgiebigen und konstruktiven Diskussionen über die experimentellen Untersuchungen dieser Arbeit sowie seine stets freundliche und aufmunternde Art, mit all den Problemen des Forschungsalltags umzugehen. Des Weiteren möchte ich Herrn Dr. Thorwarth danken, der uns alle stetig antrieb, neue Ideen auszuprobieren.

Ein großes Dankeschön auch an meine Abteilung: Anke, Barna, Katharina, Katrin, Oliver, Paula, Silvio und Tobias sowie unser Laborteam Kay, Mario, Theres, Wiliana und Wolfgang. Danke für all die Ergebnisse, die Diskussionen und die Ideen, ohne die das Arbeiten nur halb so interessant und spannend wäre.

Ein Dankeschön auch an unser Werkstattteam, das unzählige Versuchsanlagen konstruieren durfte und mit meinen Konzepten hin und wieder seine Mühe hatte.

Danken möchte ich auch Vladimir, der während seiner Zeit am IFK als König des Technikums alles und jeden zum Laufen brachte und immer für Diskussionen und neue Ideen zu haben war.

„Unser Dieter“ war und wird immer mit Rat und Tat zur Seite stehen. Mit seinen Ideen für messtechnische Fragestellungen, seinen Engagement und seiner Freundlichkeit war er nicht nur im Arbeitsalltag immer zur Stelle, wofür ich ihm herzlich danken möchte.

Danken möchte ich auch Herrn Dr. Greißl, der mir die Welt der Kraftwerkstechnik zeigen durfte und mein ständiges „Warum“ ertragen musste. Dennoch hatte er immer eine Antwort und wusste auch stets die ein oder andere spannende Geschichte über Rehe und Jagd(un)glück zu erzählen.

Die „Bildungshappen“ der Kafferunde und der Kochclub waren immer eine willkommene Abwechslung zur Arbeit und sicherlich weit mehr als gemeinsames Arbeiten.

Nicht zu vergessen ist Uschi. Ohne Uschi wäre das IFK nicht das was es ist: Danke.

Der größte Dank gebührt sicherlich an Nancy, Ben und Pünktchen, die mir jeden Tag aufs neue zeigen, was eigentlich im Leben wirklich wichtig ist. Ohne sie, wäre dies alles nicht möglich gewesen.

FÜR MEINE FAMILIE

Inhalt

ABKÜRZUNGEN UND FORMELN.....	II
ABSTRACT	V
1 EINLEITUNG	1
2 GRUNDLAGEN	2
2.1 WIRKUNGEN UND QUELLEN VON CO ₂	2
2.1.1 EINFLUSS VON CO ₂ AUF DAS KLIMA.....	2
2.1.2 ENERGIEERZEUGUNG ALS QUELLE FÜR CO ₂ -EMISSIONEN IN DEUTSCHLAND	2
2.2 DIE ABTRENNUNG VON CO ₂ BEI FOSSIL BEFEUERTEN KRAFTWERKEN	5
2.2.1 OXYFUEL-PROZESS	5
2.2.2 PRE-COMBUSTION CAPTURE	6
2.2.3 POST-COMBUSTION CAPTURE	7
2.3 DAS VERFAHREN DER AMINWÄSCHE.....	8
2.3.1 FUNKTIONSWEISE DES VERFAHRENS DER AMINWÄSCHE	8
2.3.2 CHEMISCHE REAKTIONEN UND ENERGIEBEDARF BEI DER AMINWÄSCHE	12
2.3.3 BEKANNTE VERFAHREN IM BEREICH DER NACHGESCHALTETEN CO ₂ -WÄSCHE	19
2.3.4 STAND DER FORSCHUNG IM BEREICH DER CO ₂ -WÄSCHE	25
2.3.5 PROJEKTE ZUR DEMONSTRATION DER CO ₂ -RAUCHGASWÄSCHE.....	29
2.4 VERANLASSUNG FÜR DIE DURCHGEFÜHRTE ARBEIT	36
3 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN VON AMINEN UND INTERPRETATION DER ERGEBNISSE	38
3.1 GRUNDLAGEN DER EXPERIMENTE	38
3.1.1 EXPERIMENTELLER AUFBAU UND VERSUCHSPARAMETER	38
3.1.2 UNTERSUCHTE AMINE UND BESTIMMUNG DER ABSORBIERTEN CO ₂ -MENGE	39
3.2 GRUNDLEGENDE BETRACHTUNGEN MIT MONOETHANOLAMIN (MEA).....	42
3.2.1 ABSORPTION VON CO ₂ DURCH MEA	42
3.2.2 TEMPERATUREINFLUSS AUF DIE CO ₂ -AUFNAHME BEI MEA.....	44
3.2.3 THEORETISCHE ARBEITSKAPAZITÄT VON MEA	46
3.2.4 EINFLUSS DER MEA-KONZENTRATION AUF DIE BELADUNG	47
3.3 EINFLUSS DER MOLEKÜLSTRUKTUR AUF DIE CO ₂ -ABSORPTION	51
3.3.1 EINFLUSS DER AMINKLASSE	51
3.3.2 EINFLUSS DER MOLEKÜLLÄNGE.....	55
3.3.3 EINFLUSS VON ALKYLSEITENKETTEN	59
3.3.4 CO ₂ -ABSORPTION DURCH POLYAMINE.....	63
3.3.5 EINFLUSS DER RÄUMLICHEN MOLEKÜL-STRUKTUR	68
3.4 SCHLUSSFOLGERUNGEN	72
3.5 BEDEUTUNG DER ARBEIT FÜR DEN STAND DER FORSCHUNG UND WISSENSCHAFT	81
4 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK	83
4.1 ZUSAMMENFASSUNG	83
4.2 AUSBLICK.....	86
LITERATURVERZEICHNIS	89

Abkürzungen und Formeln

Abkürzungen

BHKW	Blockheizkraftwerk
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
CASTOR	From Capture to Storage (EU-Projekt)
CATO; CATO-2	CO ₂ Capture, Transport and Storage in the Netherlands (Holländische Forschungsprojekte)
CESAR	CO ₂ Enhanced Separation and Recovery (EU-Projekt)
EOR	Enhanced Oil Recovery
EU	Europäische Union
IGCC	Integrated Gasification Combined Cycle
KS-1; KS-2; KS-3	Kurzbezeichnung für spezielle Waschlösungen
KP-1	Kurzbezeichnung für spezielle Packung
MHI	Mitsubishi Heavy Industries
REA	Rauchgasentschwefelungsanlage
TNO	Niederländische Forschungseinrichtung

Kennwerte

A_{mol}	fiktive Arbeitskapazität	[mol CO ₂ / mol Amin]
A_L	fiktive Aufnahmekapazität	[g CO ₂ / kg Lösung]
$\alpha_{40^\circ\text{C}}$	Gleichgewichtsbeladung bei 40°C	[mol CO ₂ / mol Amin]
$\alpha_{90^\circ\text{C}}$	Gleichgewichtsbeladung bei 90°C	[mol CO ₂ / mol Amin]
C^{Amin}	Aminanteil	[%]
M_{CO_2}	Molare Masse CO ₂	[g/ mol]
M^{Amin}	Molare Masse des jeweiligen Amins	[g/ mol]
P	Potential des Amins	[mol Amin/ mol CO ₂]

Indizes

N	Normzustand (0°C, 1013mbar)
mol	Bezugsgröße „Mol“
L	Bezugsgröße „Waschmittelmasse“
40°C, 90°C	Versuchstemperatur

Chemische Formeln und Stoffe

B	Base
CaCO ₃	Calciumcarbonat
CaO	Calciumoxid
CH ₂	Alkylgruppe
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
HCl	Salzsäure
H ₂	Wasserstoff
H ₂ O	Wasser
H ₂ CO ₃	Kohlensäure
HCO ₃ ⁻	Hydrogencarbonat-Ion/ Bicarbonat
HNO ₃	Salpetersäure
H ₂ SO ₄	Schwefelsäure
H ⁺	Wasserstoffproton
HO-CH ₂ -CH ₂ -NHCOO ⁻	Carbamat-Ion von MEA
HO-CH ₂ -CH ₂ -NH ₂	MEA-Molekül
N ₂	Stickstoff
NO ₂	Stickstoffdioxid
NO _x	Stickoxide/ Summenschreibweise für NO und NO ₂
O ₂	Sauerstoff
OH ⁻	Hydroxid-Ion
R ₁ ; R ₂ ; R ₃	Molekülseitenketten
SO ₂ , SO ₃	Schwefeldioxid, Schwefeltrioxid
AB	Aminobutanol/ 2-Amino-1-butanol
AP-Kette	Aminopropanol/ 3-Aminopropanol
AEAE	Aminoethylaminoethanol/ 2-(2-Aminoethylamino)-ethanol
AEE	Aminoethoxyethanol/ 2-(2-Aminoethoxy)-ethanol
AMP	Aminomethylpropanol/ 2-Amino-2-methyl-1-propanol
BAE	Butylaminoethanol
DEA	Diethanolamin/ 2,2'-Iminobisethanol
DETA	Diethylaminoethanol
EAE	Ethylaminoethanol
MAE	Methylaminoethanol
MDEA	Methyldiaminoethanol/ 2,2'-Methyliminodiethanol
MEA	Monoethanolamin/ 2-Aminoethanol
TETA	Triethyltetramin
TEPA	Triethylpentamin

