

Thomas Ott

**Langzeitstabilität von  $\text{Cu(In,Ga)Se}_2$ -  
Dünnschichtsolarzellen**



**Cuvillier Verlag Göttingen**  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



## Langzeitstabilität von Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>-Dünnschichtsolarzellen





# Langzeitstabilität von Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>-Dünnschichtsolarzellen

## DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades eines

## DOKTOR-INGENIEUR (Dr.-Ing.)

der Fakultät für Ingenieurwissenschaften,  
Informatik und Psychologie der Universität Ulm

vorgelegt von

**Thomas Ott**

aus Ulm



### **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2019

Zugl.: Ulm, Univ., Diss., 2019

Als Dissertation genehmigt von  
der Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Informatik und Psychologie  
der Universität Ulm

Tag der Einreichung: 06.10.2017

Tag der mündlichen Prüfung: 18.01.2019

Amtierender Dekan: Prof. Dr.-Ing. Maurits Ortmanns

Vorsitzender des Promotionsorgans: Prof. Dr.-Ing. Christian Waldschmidt

Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jörg Fecht  
Prof. Dr.-Ing. Thomas Walter  
Prof. Dr.-Ing. Hans-Werner Schock

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2019

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

[www.cuvillier.de](http://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, 2019

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-7038-0

eISBN 978-3-7369-6038-1



Die vorliegende Arbeit ist im Rahmen meiner Tätigkeit als akademischer Mitarbeiter im Labor für Mikrotechnik an der Hochschule Ulm entstanden. Ein besonderer Dank gilt dessen Leiter Prof. Dr.-Ing. Thomas Walter für das entgegengebrachte Vertrauen.

Des Weiteren möchte ich Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jörg Fecht, Direktor des Instituts für Funktionelle Nanosysteme an der Fakultät für Ingenieurwissenschaften, Informatik und Psychologie der Universität Ulm, für die Betreuung der Dissertation danken.

Für die Übernahme der Begutachtung danke ich Prof. Dr.-Ing. Hans-Werner Schock.

Allen Kollegen am Institut für Mechatronik und Medizintechnik der Hochschule Ulm, welche zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, sei auch gedankt, im Speziellen Volker Schilling-Kästle und Gerhard Keller. Ein besonderer Dank geht an die Zimmerkollegen Philip Mack, Dr.-Ing. Klaus Baur, Dr.-Ing. Steffen Lutz und Christian Erhart für den regen Austausch und die gute Zusammenarbeit.

Danke an alle Studierenden, welche ich während meiner Zeit an der Hochschule im Labor für Mikrotechnik betreuen durfte.

Des Weiteren möchte ich den Projektpartnern Raymund Schäffler von der Manz CIGS Technology GmbH sowie Dr. rer. nat. Dimitrios Hariskos, Dr. rer. nat. Oliver Kiowski und Dr. rer. nat. Oliver Salomon vom Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg für die gute Zusammenarbeit und gewinnbringenden Diskussionen danken.

Auch möchte ich Susanne Menzel, Rudolf Rösch und Alexander Minkow vom Institut für Funktionelle Nanosysteme der Universität Ulm für die stetige Bereitstellung von flüssigem Stickstoff und die Durchführung von REM-Aufnahmen danken.

Diese Arbeit entstand im Rahmen der Projekte RECIS und RECIS II und wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit und dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert.

Final danke ich meiner ganzen Familie für die Unterstützung, speziell meiner Frau Tanja und meiner Tochter Nevia.

Thomas Ott

Neu-Ulm, Januar 2019





# Kurzfassung

Für die Energiewende Deutschlands kommt den regenerativen Energien eine Schlüsselrolle zu. Die Photovoltaik besitzt hierbei das größte Potential für weitere signifikante Zuwächse. Ein großer Marktanteil in der Photovoltaik entfällt auf die Siliziumtechnologie. Als Alternative bietet sich die Dünnschichttechnologie aus Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (CIGS) an, deren Wirkungsgrad den von multikristallinem Silizium im Labor bereits übertrifft. Neben dem Wirkungsgrad ist die Stabilität über der Lebensdauer von Solarmodulen ein wichtiger Parameter. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der Langzeitstabilität von CIGS-Solarzellen. Der zugrundeliegende Degradationsmechanismus soll bestimmt und bewertet werden. Basis der Untersuchungen sind beschleunigte Alterungstest. Zellen werden unter definierten Bedingungen in Klimakammern bei erhöhten Temperaturen gelagert. Die Zellen wurden im Ausgangszustand und nach definierten Zeitintervallen elektrisch und optisch charakterisiert. Parameterdriften über der Zeit können durch diese Methode ermittelt werden. Mit Hilfe der Parameterdriften und Kennlinienveränderungen wird der zugrundeliegende Degradationsmechanismus bestimmt und ein Modell zur Erklärung der beobachteten Parameterdriften eingeführt. Dies wird mit Hilfe von Berechnungen und numerischen Simulationen validiert. Final wird die Langzeitstabilität bewertet. Als Basis dienen Dauertest bei verschiedenen Temperaturen. Die Spannung während des Dauertests entsprach Feldbedingungen. Eine elementare Erkenntnis der beschleunigten Alterungstest war, dass das Verhalten bei tiefen Temperaturen im Ausgangszustand nach Dauertests bei Raumtemperatur auf tritt. Hauptsächlich sind dies für die I-U-Kennlinie die Abhängigkeit der Leerlaufspannung von der Bestrahlungsstärke und eine Nichteinhaltung des Superpositionsprinzips für variierende Bestrahlungsstärken. Dies Verhalten konnte zum ersten Mal bei Raumtemperatur beobachtet werden. Auf Grundlage der Parameterdriften und Kennlinienveränderungen wurde eine Barriere am Rückkontakt als ursächlicher Degradationsmechanismus ermittelt. Auf dieser Erkenntnis basierend wurde ein Modell zur Beschreibung des Zellverhaltens über den gesamten Temperaturbereich entwickelt und eingeführt. Hauptbestandteil des „Phototransistormodells“ ist eine Barriere am Rückkontakt. Das Modell wurde im Zuge der Arbeit mathematisch beschrieben. Damit konnte eine neue Methode zur Bestimmung der Barriere am Rückkontakt mit Hilfe der Leerlaufspannung über Temperatur Charakteristik entwickelt werden. Als Ursache für die beobachteten Veränderungen der Zellcharakteristika wurde eine Erhöhung der Barriere am Rückkontakt identifiziert. Das mathematische Modell wurde mit Matlab berechnet und das Phototransistormodell mit einem Programm numerisch simuliert. Es ergab sich für beide Methoden eine sehr gute Übereinstimmung mit den gemessenen Zellcharakteristika. Durch Messungen und Simulationen konnte ein direkter Zusammenhang zwischen der N1-Stufe in der Admittanzspektroskopie und der Barriere am Rückkontakt hergestellt werden. Das beobachtete Verhalten von Zellen bei einem Dauertest unter negativer Spannung konnte mit dem Punch-Through Effekt erklärt werden. Die Dauertests ergaben keine erhebliche Verschlechterung der Lebensdauer, die Langzeitstabilität ist dem zu Folge nicht als kritisch zu bewerten.





# Abstract

Renewable energies play a key role in Germany's energy transition, whereby photovoltaics exhibits the greatest potential for a further significant growth. A large market share in photovoltaics is held by silicon technology. The thin-film technology of copper indium gallium diselenide (CIGS) offers a promising alternative as the efficiency already exceeds multicrystalline silicon in the laboratory. In addition to the efficiency, the long-term stability over the lifetime of solar modules is an important parameter for the competitiveness of a technology. The aim of this thesis is the investigation of the long-term stability of CIGS solar cells. Accelerated aging tests by storing and operating cells under defined conditions in climatic chambers at elevated temperatures form the basis of these investigations. The underlying degradation mechanisms were determined and evaluated. The solar cells were characterized electrically and optically in the initial state and after defined time intervals. Parameter drifts over time were determined, the underlying degradation mechanisms were introduced to explain the observed parameter drifts. This model was validated with the help of analytical calculations, numerical simulations and corresponding device measurements. Finally, the long-term stability was evaluated based on endurance tests at different temperatures.

An elementary finding of the accelerated aging revealed that the behavior at low temperatures in the initial state appeared after the endurance tests at room temperature. This could primarily be due to the dependence of the open-circuit voltage on the irradiance and for the non-compliance of the superposition principle under different irradiances. Based on the observed parameter drifts and characteristic signatures, a barrier at the back contact could be identified as the underlying degradation mechanism. As a consequence of this insight, a model was developed and introduced to describe the cell characteristics over the entire temperature range. The main component of this "phototransistor model" is a Schottky barrier at the back contact. This model was analytically described in the course of the work. From this model, a new method for determining the barrier at the back contact using the open-circuit voltage over temperature characteristics could be deduced. Applying this analytical approach and simulating the device characteristics numerically, a very good agreement with the measured cell characteristics could be obtained. The origin for the observed parameter drifts of the cell characteristics was identified as an increase of the barrier height at the back contact. Furthermore, measurements and simulations provided a direct correlation between the so-called N1 level in admittance spectroscopy and the back contact barrier. The observed signatures of devices with a low doping level as a result of a duration test under a negative voltage could be explained by a punch-through effect. However, no severe degradation mechanisms which limit the device performance within the guaranteed lifetime of modules could be identified. Thus, the observed parameter drifts are not critical with respect to the stability of this thin film technology.



# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>-Dünnschichtsolarzellen</b>	<b>4</b>
2.1	Historie und Stand der Technik . . . . .	4
2.2	Materialeigenschaften . . . . .	5
2.3	Aufbau von Cu(In,Ga)Se <sub>2</sub> -Dünnschichtsolarzellen . . . . .	10
2.4	Fertigungsverfahren . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Hetero-Solarzelle</b>	<b>14</b>
3.1	p-n- und Heteroübergang . . . . .	14
3.2	Optoelektronische Eigenschaften und Charakterisierungsmethoden . . . . .	15
3.2.1	Strom-Spannungs-Charakteristik . . . . .	15
3.2.2	Kapazität-Spannungs-Charakteristik . . . . .	18
3.2.3	Quantenausbeute . . . . .	22
3.2.4	Intensitäts- und temperaturabhängige Kennlinien . . . . .	24
3.2.5	Admittanzspektroskopie . . . . .	25
3.3	Simulation . . . . .	27
<b>4</b>	<b>Langzeitstabilität und Lebensdauermodelle</b>	<b>30</b>
4.1	Methodik . . . . .	31
4.2	Phänomenologie . . . . .	33
4.3	Modelle zur Meta- und Langzeitstabilität . . . . .	36
4.3.1	Metastabilitäten . . . . .	37
4.3.2	Modelle zur Erklärung von Metastabilitäten . . . . .	39
4.3.3	Langzeitstabilität . . . . .	46
4.3.4	Modelle für Kennlinienverhalten . . . . .	48
<b>5</b>	<b>Langzeittests an Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub>-Dünnschichtsolarzellen</b>	<b>56</b>
5.1	Parameterdriften . . . . .	57
5.2	Reversibilität . . . . .	62
5.3	Kennlinienverhalten . . . . .	62
5.3.1	Dunkel- und Hellkennlinie . . . . .	63
5.3.2	Intensitätsabhängigkeit . . . . .	65
5.3.3	Dotierungsprofil . . . . .	68



5.3.4	Externe Quantenausbeute . . . . .	69
5.4	Temperaturabhängigkeit . . . . .	70
5.4.1	Initialer Zustand . . . . .	70
5.4.2	Zustand nach Alterung . . . . .	72
5.4.3	Spannungsinduzierte Veränderungen . . . . .	75
5.5	Zusammenfassung Langzeittests an Cu(In,Ga)Se <sub>2</sub> -Dünnschichtsolarzellen . . . . .	75
<b>6</b>	<b>Einführung des Phototransistor-Modells</b>	<b>77</b>
6.1	Validierung bestehender Modelle . . . . .	77
6.2	Phototransistor-Modell . . . . .	78
6.3	Analytische Verifikation . . . . .	80
6.4	Numerische Simulationen des Phototransistor-Modells . . . . .	89
6.5	Parameterextraktion . . . . .	93
6.6	Admittanzspektroskopie . . . . .	95
6.7	Einfluss diverser Parameter auf die Zellcharakteristik . . . . .	97
6.7.1	Barrierrhöhe am Rückkontakt . . . . .	97
6.7.2	Dotierung . . . . .	98
6.8	Punch-Through Effekt . . . . .	99
6.9	Rückkontakt . . . . .	103
6.10	Zusammenfassung Einführung des Phototransistor-Modells . . . . .	105
<b>7</b>	<b>Bewertung und Optimierung der Langzeitstabilität</b>	<b>106</b>
7.1	Lebensdauerkalkulation . . . . .	106
7.1.1	Optimierung der Langzeitstabilität . . . . .	108
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>109</b>
	<b>Veröffentlichungen</b>	<b>113</b>
	Publikationen . . . . .	113
	Konferenzbeiträge . . . . .	113
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>115</b>



# Verzeichnis häufig verwendeter Formelzeichen und Abkürzungen

Im Folgenden werden die Bedeutungen der in dieser Arbeit verwendeten Formelzeichen und Abkürzungen erläutert. Eine Unterscheidung zwischen reellen und komplexen Größen wird nicht vorgenommen. Außerdem findet sich eine Vielzahl von Symbolen mit hoch- oder tiefgestellten Indizes. Die Bedeutung der einzelnen Indizierungen ergibt sich aus der folgenden Auflistung oder wird unmittelbar im zusammenhängenden Text erklärt. Die angegebenen Seitenzahlen nennen jeweils die Seite mit der erstmaligen Verwendung des Formelzeichens oder der Abkürzung.

## Formelzeichen

$A$	Fläche . . . . .	16
$A^*$	Effektive Richardsonkonstante . . . . .	81
$C$	Kapazität . . . . .	14
$C_{0V}$	Kapazität bei 0 V . . . . .	60
$C_D$	Kapazität der Raumladungszone pro Fläche . . . . .	20
$d$	Abstand Kondensatorplatten . . . . .	20
$D_n$	Diffusionskoeffizient der Elektronen . . . . .	17
$D_p$	Diffusionskoeffizient der Löcher . . . . .	17
$E_A$	Aktivierungsenergie . . . . .	24
$E_{Fp}$	Quasi-Fermi-Niveau für Löcher . . . . .	79
$E_L$	Untere Kante des Leitungsbandes . . . . .	79
$E_V$	Obere Kante des Valenzbandes . . . . .	79
$E_{Fn}$	Quasi-Fermi-Niveau für Elektronen . . . . .	79
$E_F$	Fermienergie . . . . .	40
$E$	Energie . . . . .	15
$E_g$	Bandlücke bzw. Bandabstand . . . . .	6
$e$	Elementarladung, $= 1,602 \cdot 10^{19} \text{ C}$ . . . . .	14
$\mathcal{E}$	Elektrische Feldstärke . . . . .	14
$f$	Frequenz . . . . .	25
$FF$	Füllfaktor . . . . .	17
$G$	Elektrischer Leitwert . . . . .	25
$h$	Planck-Konstante . . . . .	8
$I$	Strom . . . . .	15
$I_{00}$	Vorfaktor des Sperrsättigungsstroms . . . . .	17



**Formelzeichen**

$I_{PhC}$	Photogenerierter Löcherstrom zum Rückkontakt . . . . .	81
$I_{PhR}$	Rekombinierender photogenerierter Löcherstrom . . . . .	81
$I_{C00}$	Vorfaktor des Sperrsättigungsstroms des Schottkykontaktes . . . . .	81
$I_C$	Löcherstrom . . . . .	81
$I_{C0}$	Sperrsättigungsstrom Schottkykontakt . . . . .	81
$I_{Ee}$	Elektronenemission Hauptbarriere . . . . .	81
$I_{E0}$	Sperrsättigungsstrom Heteroübergang . . . . .	81
$I_{E00}$	Vorfaktor des Sperrsättigungsstroms des Heteroüberganges . . . . .	82
$I_E$	Emitter- bzw. Gesamtstrom . . . . .	82
$I_{SC}$	Kurzschlussstrom . . . . .	17
$I_{max}$	Stromwert bei maximaler Leistung . . . . .	17
$I_0$	Sperrsättigungsstrom . . . . .	15
$I_{Ph}$	Photostrom . . . . .	15
$J$	Stromdichte . . . . .	22
$J_{SC}$	Kurzschlussstromdichte . . . . .	23
$J_{ref}$	Stromdichte einer Referenzzelle . . . . .	24
$k_B$	Boltzmann-Konstante, = $8,62 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$ . . . . .	15
$L_p$	Diffusionslänge für Löcher . . . . .	82
$L_n$	Diffusionslänge für Elektronen . . . . .	82
$L_D$	Debye-Länge . . . . .	21
$m^*$	Effektive Masse . . . . .	81
$N_A^-$	Ionisierte Akzeptorkonzentration . . . . .	14
$N_D^+$	Ionisierte Donatorkonzentration . . . . .	14
$N_C$	Effektive Ladungsträgerdichte im Leitungsband . . . . .	17
$N_V$	Effektive Ladungsträgerdichte im Valenzband . . . . .	17
$N$	Dotierungskonzentration . . . . .	20
$N_A$	Akzeptorkonzentration . . . . .	15
$N_D$	Donatorkonzentration . . . . .	15
$n_i$	Intrinsische Ladungsträgerdichte . . . . .	15
$n$	Diodenfaktor . . . . .	15
$n_e$	Anzahl generierten Elektronen . . . . .	22
$n_\nu$	Anzahl der eingestrahelten Photonen . . . . .	22
$P_{max}$	Maximale Leistung . . . . .	17
$P_{in}$	Zugeführte Leistung . . . . .	17
$P$	Leistung . . . . .	17
$Q$	Ladungsdichte . . . . .	20
$R$	Spektrale Reflexion . . . . .	23



**Formelzeichen**

$R_S$	Serienwiderstand . . . . .	18
$R_P$	Parallelwiderstand . . . . .	18
$S_n$	Rekombinationsgeschwindigkeit für Elektronen . . . . .	52
$S$	Spektrale Empfindlichkeit . . . . .	22
$S_{ref}$	Spektrale Empfindlichkeit einer Referenzzelle . . . . .	23
$t_T$	Zeitwerte . . . . .	31
$t_0$	Zeitkonstante . . . . .	31
$T_t$	Übergangstemperatur . . . . .	94
$T$	Temperatur . . . . .	15
$U_D$	Diffusionsspannung . . . . .	15
$U_{OC}$	Leerlaufspannung . . . . .	16
$U_{BELim}$	Grenzwert von $U_{BE}$ . . . . .	86
$U_{BE}$	Spannung am Heteroübergang . . . . .	81
$U_{BC}$	Spannung am Rückkontakt . . . . .	81
$U$	Spannung . . . . .	3
$U_{max}$	Spannungswert bei maximaler Leistung . . . . .	17
$W_D$	Gesamtweite der Raumladungszone . . . . .	20
$W_{Dn}$	Verarmungszone im n-Halbleiter . . . . .	19
$W_{Dp}$	Verarmungszone im p-Halbleiter . . . . .	19
$x_n$	Verarmungszone im n-Halbleiter . . . . .	19
$x_p$	Verarmungszone im p-Halbleiter . . . . .	19
$Y$	Admittanz . . . . .	25
$\alpha$	Absorptionskoeffizient . . . . .	6
$\beta$	Verstärkungsfaktor . . . . .	81
$\epsilon$	Relative Dielektrizitätskonstante des Halbleiters . . . . .	15
$\epsilon_0$	Dielektrizitätskonstante des Vakuums . . . . .	15
$\epsilon_S$	Dielektrizitätskonstante des Halbleiters . . . . .	19
$\eta$	Wirkungsgrad . . . . .	17
$\lambda$	Wellenlänge . . . . .	22
$\mu_p$	Löcherbeweglichkeit . . . . .	82
$\mu_n$	Elektronenbeweglichkeit . . . . .	82
$\Phi_b^n$	Barriere für die Elektronen . . . . .	47
$\varphi$	Potential . . . . .	15
$\nu$	Frequenz des Lichts . . . . .	8
$\rho_p$	Positive Raumladungsdichte . . . . .	14
$\rho_n$	Negative Raumladungsdichte . . . . .	14
$\rho$	Ladungsdichte . . . . .	14



**Formelzeichen**

$\tau_n$	Ladungsträgerlebensdauer der Elektronen . . . . .	17
$\tau_p$	Ladungsträgerlebensdauer der Löcher . . . . .	17
$\Phi_B$	Barriere am Rückkontakt . . . . .	81
$\phi_L$	Strahlungsleistungsdichte . . . . .	22
$\Phi_{ph}$	Photonenflussdichte bzw. Bestrahlungsstärke pro Fläche . . . . .	16
$\xi_0$	Thermischer Emissionsvorfaktor . . . . .	26
$\omega$	Kreisfrequenz . . . . .	25
$\omega_0$	Frequenz des Wendepunkts . . . . .	26

**Abkürzungen**

AM	<i>Air Mass</i> ,Luftmasse . . . . .	6
a-Si	Amorphes Silizium . . . . .	30
AZO	Aluminiumdotiertes Zinkoxid, ZnO:Al . . . . .	46
CIGS	Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid . . . . .	4
CdTe	Cadmium Tellurid . . . . .	2
CIS	Kupfer-Indium-Diselenid . . . . .	4
CGS	Kupfer-Gallium-Diselenid . . . . .	8
CCD	Configuration coordinate diagram . . . . .	42
Cu <sup>+</sup>	Kupferion . . . . .	45
DLIT	Dunkel Lock-In Thermographie . . . . .	31
DLTS	<i>Deep Level Transient Spectroscopy</i> , temperaturabhängige Kapazitäts- transientenmessungen . . . . .	41
IEC	Internationale Elektrotechnische Kommission . . . . .	6
IQE	Interne Quantenausbeute . . . . .	22
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz . . . . .	1
EQE	Externe Quantenausbeute . . . . .	7
EL	Elektrolumineszenz . . . . .	31
EVA	Ethylenvinylacetat . . . . .	47
ESB	Ersatzschaltbild . . . . .	54
MOCVD	Metallorganische chemische Gasphasenabscheidung . . . . .	12
MPP	<i>Maximum Power Point</i> , maximaler Leistungspunkt der Solarzelle . . . . .	56
NREL	National Renewable Energy Laboratory . . . . .	4
$n$	n-Typ Halbleiter (mit Donatorstörstellen) . . . . .	14
NOCT	<i>Normal operating cell temperature</i> , Temperatur der Solarzelle im Nor- malbetrieb . . . . .	32
OVC	<i>Ordered Vacancy Compound</i> , geordnete Leerstellen-Verbindung . . . . .	50
ODC	<i>Ordered Defect Compound</i> , geordnete Defekt-Verbindung . . . . .	50
P1	Modulfertigung erster Separationsschritt . . . . .	11