

Thomas Raussen, Sabine Robra

Energieerzeugung aus Reststoffen der Zuckerrohrverarbeitung

Zuckerrohr ist hinsichtlich der Biomasseerzeugung eine der weltweit produktivsten Kulturpflanzen: Hauptprodukte sind Zucker und Bioethanol. Die Reststoffe der Verarbeitung sind für die Energieerzeugung bedeutsam. Untersuchungen in Brasilien weisen darauf hin, dass grüne Pflanzenteile und die Schlempe als Reststoff der Bioethanolerzeugung für die Biogasproduktion geeignet sind.

1. Zuckerrohr – Grundlage einer effizienten und wachsenden Agroindustrie

Brasilien war 2007 mit einer Jahresproduktion von 514 Mio. t und einer Anbaufläche von 6,7 Mio. ha mit Abstand der weltweit größte Produzent von Zuckerrohr, vor Indien (355 Mio. t/a) und China (106 Mio. t/a) [2]. In den vergangenen vier Jahrzehnten vervierfachte sich die brasilianische Anbaufläche für Zuckerrohr, und auch für die Zukunft wird eine Fortsetzung dieses Trends prognostiziert (Bild 1).

Die Ausweitung des Zuckerrohranbaus in Brasilien lässt sich nicht unmittelbar mit dem Raubbau an Urwäldern in Zusammenhang bringen. Dazu muss man sich klar machen, dass zum einen die Hauptanbauggebiete für Zuckerrohr im Bundesstaat São Paulo mehrere tausend Kilometer von der Amazonasregion entfernt sind und zum anderen die gesamte Zuckerrohranbaufläche 2007 nur 1,6 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche Brasiliens ausmachte [4].

Mit einem durchschnittlichen jährlichen Ertrag von knapp 80 t/ha Zuckerrohr liefert die Kultur sehr hohe Biomasseerträge. Dabei noch nicht berücksichtigt sind die bei der Ernte auf dem Feld verbleibenden strohartigen Blätter und grünen Spitzen, die etwa 1/3 der gesamten Biomasse ausmachen. Während früher das manuelle Pflanzen und vor allem auch die Ernte die Regel war, steigt der Anteil der Flächen, die vollmechanisiert und mit hohem Standard bewirtschaftet werden, wozu auch Vollernter und aktuelle Formen des Dünge- und Pflanzenschutzmanagements gehören. Zuckerrohrfelder

werden durch Pflanzen des Rohrs in Furchen angelegt. Danach kann jährlich für einen Zeitraum von in der Regel 5 Jahren geerntet werden. Die Pflanzen treiben nach der Ernte wieder aus.

Traditionell werden die Zuckerrohrfelder vor der Ernte zur Arbeiterleichterung abgebrannt, wobei trockene Blätter und ähnliches verbrennen, während das Ernteprodukt „Rohr“, also der Stängel unverseht bleibt. Wenngleich das Abbrennen weiterhin praktiziert wird, reduziert sich diese Praxis auf Grund von gesetzlichen Vorschriften. Bis zum Jahr 2020 soll diese Praxis ganz abgeschafft sein. Gleichzeitig nimmt die voll mechanisierte Ernte der grünen Pflanzen zu, wodurch sich der Anfall an Biomasse bedeutend erhöht und Emissionen vermieden werden (Bild 2).

Die meisten brasilianischen zuckerrohrverarbeitenden Fabriken produzieren so-

wohl Zucker als auch Bioethanol, um Synergieeffekte im Prozess zu nutzen und um flexibel auf die häufigen Änderungen der Nachfrage nach Zucker und Alkohol auf den Märkten reagieren zu können. Neben dem Bioethanol liefern die lignozellulosereichen ausgepressten Halme, die so genannte Bagasse, als Festbrennstoff in Biomasseheizkraftwerken sowohl den für die zuckerrohrverarbeitende Industrie notwendigen Prozessdampf als auch Strom für den Eigenverbrauch sowie zur Einspeisung in das Stromnetz. Der Einsatz der Bagasse in den Kraftwerken ist in Brasilien gängige Praxis und die Kraftwerkstechnik, mit Ausnahme der Rauchgasreinigung, auf einem modernen Stand.

Zuckerrohr als Energielieferant (Ethanol, Bagasse) weist bei derzeitigen Produktionsverfahren eine mittlere Energieeffizienz von 9,3 (Output regenerative

Bild 1 | Entwicklung und Perspektiven der Zuckerrohranbaufläche in Brasilien /5/

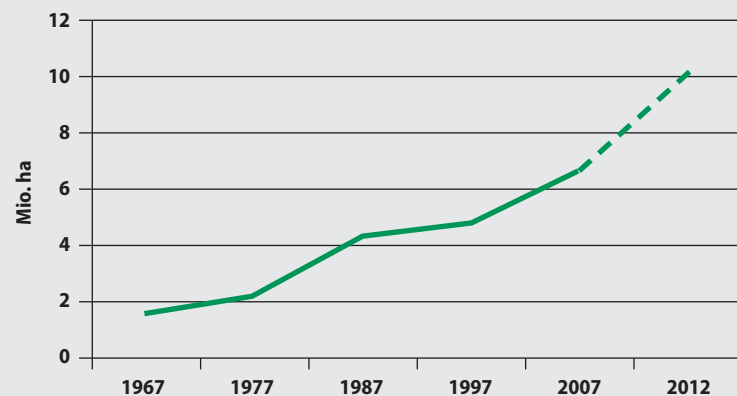




Bild 2: Moderne Verfahren ersetzen zunehmend die manuelle Ernte des Zuckerrohrs und machen das Abbrennen der Felder überflüssig

Energie : Input fossile Energie) auf [3]. Im Vergleich zu 2007 wuchs der Anteil des Sektors um einen halben Prozentpunkt und hatte damit 2008 einen Anteil von 16,4 % an der Energieerzeugungsmatrix Brasiliens. Damit behauptete sich die zuckerrohrverarbeitende Industrie als einer der wichtigsten Lieferanten von Primärenergie, direkt nach Erdöl und seinen Derivaten [1].

2. Energieversorgung Brasiliens

Die Bruttoenergieerzeugung Brasiliens verzeichnete seit dem Jahr 2000 ein Wachstum von 32,3 % und betrug 2008 252 Mio. t Öläquivalent. Die erneuerbaren Energien hatten 2008 einen Anteil von 46 %, was vor allem auf den hohen Anteil von Wasserkraft bei der Stromerzeugung (73 %) zurückzuführen ist, die mit Abstand billigste Energieform. Aber auch die umfassende Nutzung von Zuckerrohrbasse zur Erzeugung von Prozessenergie und Strom in der Alkohol- und Zuckerindustrie sowie der Einsatz von 17 Mrd. Litern Bioethanol als Kraftstoff für die PKW-Flotte [1] tragen erheblich zu diesem Umstand bei. Regenerative Energien machen also 45 % am Energiemix aus (zum Vergleich: der Anteil Erneuerbarer am Endenergieverbrauch in Deutschland betrug 9,7 % im Jahr 2008) (Bild 3).

Bei den fossilen Energieträgern kann Brasilien zunehmend auf eigene off-shore Quellen vertrauen. Allerdings ist das Land von nicht immer zuverlässigen Erdgasimporten abhängig, die zur Versorgung der Industrie dienen, sowie zur Stromerzeugung bei Lastspitzen und als Ergänzung der bereits weitgehend ausgereizten

und darüber hinaus dürreanfälligen Wasserkraft. Die Erdgasleitungen befinden sich überwiegend entlang der Küste. Von daher besteht besonders im Landesinneren großes Interesse an Substituten für Erdgas, wie z. B. aufbereitetem Biogas.

3. Reststoffe bei der Zuckerrohrverarbeitung und ihre Eignung zur Biogasproduktion

Zuckerrohr ist also nicht nur für die Exportwirtschaft Brasiliens über das traditionelle Produkt Zucker und das neue Exportprodukt Bioethanol interessant, sondern spielt auch eine wesentliche Rolle bei der Energieversorgung des Landes. Bild 4 zeigt beispielhaft die bereits weitgehend optimierten Stoffströme der Zuckerrohrverarbeitung. Durch die Abkehr vom Abbrennen der Felder fällt zukünftig mehr zusätzliche Biomasse an. Die kaliumreiche Schlempe als Reststoff der Bioethanolproduktion, die in Mengen von ca. 13 Litern je Liter Alkohol anfällt, wird bisher zur Flüssigdüngung der Zuckerrohrfelder genutzt, wobei es wegen der geringen Transportwürdigkeit zum Teil zu Anreicherung von Kalium in den Böden der fabriknahen Felder kommt.

In einem Projekt des Witzenhausen-Instituts in Verbund mit anderen deutschen Institutionen und der Forschungsgruppe Bio-

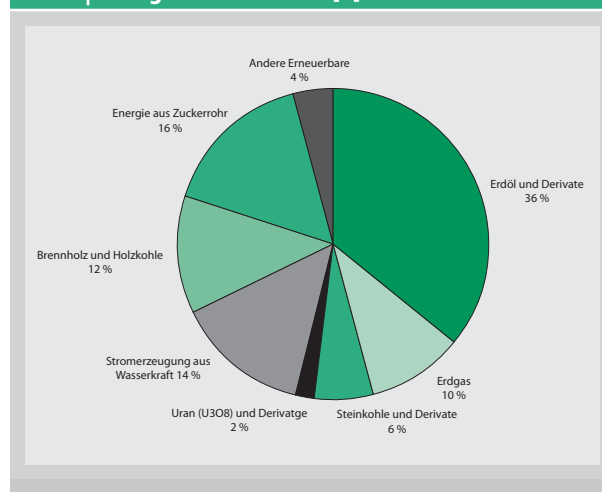
energie und Umwelt der Universidade Estadual de Santa Cruz in Bahia, Brasilien, wurden die Biogaspotenziale der Reststoffe untersucht und ihre Nutzungsmöglichkeiten geprüft.

Während in Brasilien der Anlagenbau – insbesondere auch im Bereich der Zuckerrohrindustrie – weit fortgeschritten ist, besteht noch wenig Erfahrung im Bereich der Biogaserzeugung. Es gibt einige UASB-Reaktoren, die in Kläranlagen eingegliedert sind und dem anaeroben Abbau der organischen Belastung von Industrieabwässern dienen. Schweine-, Rinder- und Geflügelgüllen werden aus demselben Grund in einfachen abgedeckten Lagunen anaerob behandelt. Das erzeugte Biogas weist meist eine mindere Qualität auf und wird von den Betreibern – im Hinblick auf CO₂-Kredite – durch die damit vermiedenen Methanemissionen überwiegend abgefackelt. Im Bereich der Biogaserzeugung besitzt Deutschland einen erheblichen Technologievorsprung gegenüber Brasilien.

Reststoffproben von den Feldern und aus den Produktionsanlagen wurden zeitgleich in Gärversuchen in Brasilien und Deutschland untersucht. Die Auswertung dieser Versuche ergab, dass der Gasertrag und das Gärverhalten der Zuckerrohrspitzen vergleichbar mit dem von Grassilage ist, d.h. im Vergleich zu anderen Biomassen mit unter 100 Nm³/t Frischmasse mittlere Werte aufweist.

Der zweite wesentliche Reststoff, die Schlempe aus der Bioethanolproduktion, zeigt ein deutlich anderes Gärverhalten. Bezogen auf den Trockensubstanzgehalt werden sehr hohe Gasausbeuten von über 600 Nm³/t oTS erzielt. Darüber hinaus verläuft die Gärung in wenigen Tagen sehr rasch.

Bild 3 | Energiemix Brasiliens [1]



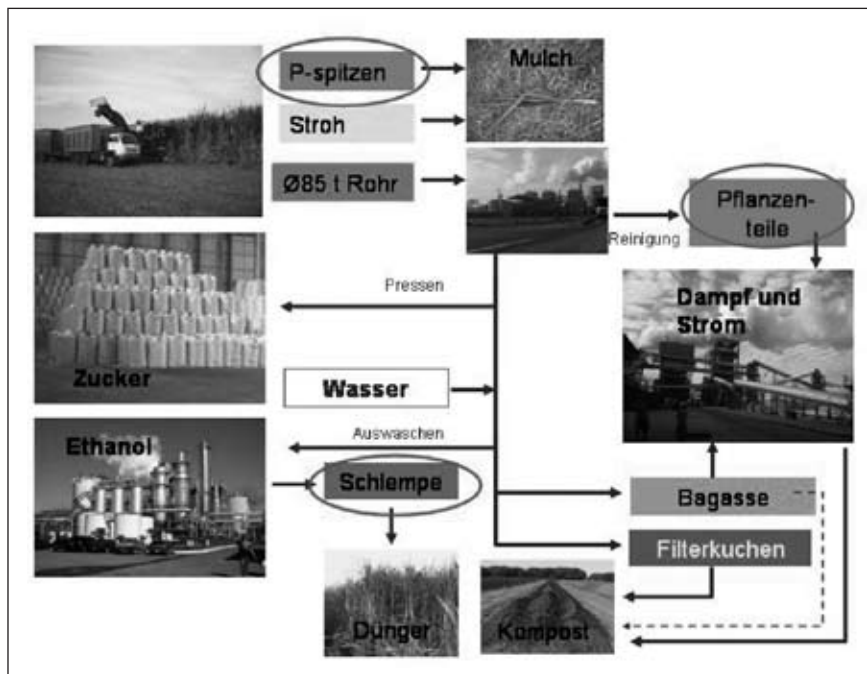


Bild 4: Stoffströme einer modernen Zuckerrohrverarbeitung in Brasilien und auf Biogasbildungspotenzial untersuchte Reststoffe (rot markiert)

Die Schlempe fällt zwar während der Bioethanolproduktion kontinuierlich an, andererseits sind die Ernte- und Verarbeitungskampagnen in den unterschiedlichen Regionen Brasiliens auf jährlich 4 bis 10 Monate begrenzt, was natürlich Auswirkungen auf den Betrieb möglicher Biogasanlagen hat. Bisher wird die Schlempe in Lagunen gekühlt und nach kurzer Zwischenlagerung als Dünger und zur Bewässerung den Feldern zugeführt. Für die Biogasnutzung ist daher keine zusätzliche Logistik erforderlich. Nach Kühlung auf ca. 65 °C kann die Schlempe im thermophilen Prozess oder nach Kühlung auf ca. 40 °C im mesophilen Temperaturbereich vergoren werden. Nach dem Vergärungsprozess steht die ausgegorene Schlempe, wie bisher die unbehandelte Schlempe, zur Bewässerung und zur Düngung der Zuckerrohrfelder zur Verfügung, wobei der Düngerwert durch die Verengung des C/N-Verhältnisses und die Umwandlung des N in pflanzenverfügbaren Ammoniumstickstoff sogar verbessert ist.

4. Biogaserzeugung und Nutzung

Auf Grund des dargestellten sehr unterschiedlichen Gärverlaufs bei Schlemphen gegenüber Zuckerrohrspitzen ist eine gemeinsame Vergärung der Materialien

nicht sinnvoll. Auch Überlegungen zur späteren Zusammenführung der Substratströme in einer zweiten Vergärungsstufe wurden nach einer Vorprüfung auf Grund der unterschiedlich anfallenden Mengen verworfen. Allerdings können die Rohbiogasströme für die weitere Aufbereitung und Nutzung zusammengeführt werden. Auch die Einmischung des flüssigen Gärrestes aus der Vergärung der Zuckerrohrspitzen in die ausgegorene Schlempe erscheint für die weitere Nutzung als Flüssigdünger sinnvoll.

Für die Vergärung der Zuckerrohrspitzen kann auf Fermenterkonzepte zurückgegriffen werden, wie sie zur Vergärung von Silagen, insbesondere Grassilagen, in Deutschland zum Einsatz kommen. Für die Vergärung der Schlempe wurden wegen des geringen TS-Gehaltes und des raschen Abbaus Festbettreaktoren betrachtet. Ebenfalls untersucht wurde ein Konzept, das auf dem Eindicken der Schlempe und ihrer anschließenden Vergärung in konventionellen Biogasfermentern beruht. Obwohl die Schlempeindickung zur Erhöhung der Transportwürdigkeit in Brasilien ein Thema ist und Anlagenkonzepte in der Erprobung sind, wurde dieser Ansatz wegen der zu erwartenden ungünstigen Energiebilanz verworfen.

Moderne Anlagen verarbeiten jährlich mehrere Millionen Tonnen Zuckerrohr zu

Alkohol und erzeugen dabei große Mengen an Schlempe. Daher ist ein modularer Aufbau für die Festbettreaktoren erforderlich. Der Platzbedarf ist dennoch selbst bei den zu erwartenden großen Inputströmen im Vergleich zu den Ethanolproduktionsanlagen überschaubar.

Strom aus Biogas erfährt auch in Brasilien eine besondere Vergütung, allerdings sind sowohl die Regelungen als auch die Vergütungssätze – auch unter Berücksichtigung des allgemeinen brasilianischen Kostenniveaus – weniger attraktiv als die in Deutschland durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) garantierten Vergütungen für den eingespeisten Strom aus Biomasse. Dennoch ist die Verstromung über BHKW die erste Wahl für die Nutzung des produzierten Biogases, insbesondere, weil die Kampagnen in die Trockenzeit fallen, in der Wasserkraftwerke auf Grund des niedrigen Füllstandes der Talsperren oft nur noch im Teillastbetrieb arbeiten. Bei großen Anlagen ist perspektivisch auch der Einsatz von Gasturbinen bis hin zu mittleren GuD Kraftwerken denkbar. Weitere Alternativen lägen in der Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität und der regionalen Verteilung über Tankstellen als PKW-Treibstoff (Erdgaskraftstoff in Brasilien weit verbreitet) oder, an geeigneten Standorten, dessen Einspeisung in das Erdgasnetz.

Die Abschätzung wirtschaftlicher Daten zeigte auf dem aktuellen brasilianischen Kosten- und Preisniveau keine Wirtschaftlichkeit für die Vergärung der Pflanzenspitzen, wohl aber für die Vergärung der Schlempe, wenn ausreichend dimensionierte Anlagen technisch realisierbar werden.

Die Umweltauswirkungen der Technik werden nach erster Einschätzung positiv bewertet, da:

- keine zusätzlichen Produktions- oder Transportaufwendungen notwendig werden,
- das Düngepotenzial verbessert,
- die Emissionen reduziert,
- und Strom bzw. Gas auf regenerativer Basis erzeugt wird.

Während unter diesen Bedingungen in vielen anderen Ländern von einem erheblichen CO₂-Einsparpotenzial auszugehen ist, sind die Bedingungen in Brasilien formal etwas anders. Bei der Erzeugermatrix von Strom in Brasilien wird von einem Wasserkraftanteil von > 77 % ausgegangen. Einschließlich der verstromten Biomasse beträgt der regenerative Stromanteil über 80 %. Wird dem

Rechnung getragen, so wird der spezifische CO₂-Ausstoß pro MWh Stromerzeugung aus Biogas in Brasilien unter 0,1 t liegen. Obgleich die regenerative Stromerzeugung aus Reststoffen natürlich auch in Brasilien sinnvoll ist, kann hier nur eine geringe Wertschöpfung über die Generierung von CO₂-Zertifikaten erzielt werden. Derzeit kann auf Grund von fehlenden Untersuchungen keine Aussage darüber getroffen werden, inwieweit die Vermeidung von Emissionen aus der gegenwärtig praktizierten offenen Schlempe Lagerung noch zu CO₂-Einsparungen führt.

5. Ausblick

Die skizzierten Ergebnisse der Arbeiten stoßen vor allem in der Zuckerrohrverarbeitenden Industrie Brasiliens, aber auch bei Investoren und Anlagenbauern in Deutschland auf Interesse. Entscheidender Schritt für die Umsetzung ist neben wirtschaftlichen Fragen der Nachweis des dauerhaften und produktiven Betriebs einer Pilotanlage am Standort der Zuckerrohrverarbeitung. Die entsprechenden Vereinbarungen und Vorüberlegungen sind dazu erfolgt und werden nach derzeitigem Stand zur Umsetzung bis zum Jahr 2010 führen.

Bei dem geschilderten Umfang der Zuckerrohrverarbeitung in Brasilien und den

Mengen anfallender Reststoffe birgt die Technik ein erhebliches Potenzial, zur regenerativen Energieversorgung beizutragen, und verdient daher Aufmerksamkeit.

Die Stromerzeugung über Wasserkraftwerke ist bereits an der Kapazitätsgrenze angelangt, andererseits steigt jedoch die Nachfrage nach Strom auf Grund des wirtschaftlichen Wachstums ständig. Darüber hinaus gibt es kaum noch strategisch günstige, industriennahe Standorte für neue Wasserkraftwerke. Als Alternativen werden entfernte, umstrittene Wasserkraftwerke in Amazonien, Erdgas- bzw. Heizölkraftwerke sowie neue Atomkraftwerke erwogen. Mittelfristig ist daher eine Erhöhung der allgemeinen Stromerzeugungskosten abzusehen. Schon jetzt erzielen moderne zuckerrohrverarbeitende Fabriken mit der Einspeisung von Strom beträchtliche Gewinne, eine Situation, die sich, insbesondere unter Einbeziehung der bisher nicht energetisch genutzten Reststoffe, in näherer Zukunft nochmals verbessern lässt.

An dieser Stelle sei auch der Deutschen Investitions- und Entwicklungsgesellschaft (DEG) für die finanzielle Unterstützung des Vorhabens gedankt, ebenso wie den vielen Partnern in Brasilien und Deutschland, die mit ihren fachlichen Beiträgen das Zustandekommen der Ergebnisse ermöglichten.

Autoren

Dipl.-Ing. Thomas Raussen

Witzenhausen-Institut
Werner-Eisenberg-Weg 1
37213 Witzenhausen
E-Mail: t.raussen@witzenhausen-institut.de

M. Sc. Sabine Robra

Witzenhausen-Institut
Grupo Bioenergia e Meio Ambiente
Universidade Estadual de Santa Cruz,
Rod. Ilhéus/Itabuna km16,
CEP: 45662-900,
Ilhéus, Bahia, Brasilien

Literatur

- [1] Brasil 2009: Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2009 – Ano base 2008: Resultados Preliminares, Rio de Janeiro: EPE
- [2] FAOSTAT 2009: FAOSTAT 2009: Internet: <http://faostat.fao.org/> Besucht am 24.06.2009
- [3] Macedo, I.C. und Seabra, J.E.A., Silva, E.A.R 2008: Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. BIOMASS AND BIOENERGY 32 (2008) 582-595
- [4] Pinheiro, Silveira 2008: The Brazilian Biofuel Program. High Level Event of Ministers of Finance on Climate Change, Warsaw, December 8 – 9,
- [5] UNICA 2009: O etanol e os desafios do mercado interno. Online: <http://www.unica.com.br/opiniaao/show.asp?msgCode={653FC86C-D21E-455A-BFFF-5299131A1680}> Zugriff am 18.06.2009



Merkblatt 6

Mobile Hochwasserschutzsysteme
Grundlagen für
Planung und Einsatz

Die Hochwasser der letzten Jahre haben die Notwendigkeit eines verbesserten Hochwasserschutzes entlang zahlreicher Flüsse vor Augen geführt. Dabei ist ein zunehmendes Interesse an mobilen Hochwasserschutzwänden festzustellen, für die bisher jedoch keine allgemein anwendbaren Standards vorlagen. Dieser Lücke nimmt sich das jetzt vorliegende BWK Merkblatt an, indem es Empfehlungen für die Planung, Konzeptionierung und Beurteilung solcher Einrichtungen ausspricht und damit dem Fachpublikum Grundlagen für einen sicheren und gezielten Einsatz mobiler Hochwasserschutzsysteme liefert. Neben Kriterien für Konstruktion, Statik, Gründung und Logistik werden Mindestanforderungen an die Standsicherheit, Betriebssicherheit und funktionale Sicherheit festgesetzt.

Zielgruppe des Merkblattes sind die am Hochwasserschutz beteiligten Behörden, Planer und Systemhersteller sowie die interessierte Öffentlichkeit.

Zu bestellen bei der Bundesgeschäftsstelle des BWK,
Hintere Gasse 1, 71063 Sindelfingen
Tel. (0 70 31) 4 38 39 94,
E-Mail: info@bwk-bund.de oder
über www.bwk-bund.de

BESTELLCOUPON

Ich bestelle:

— Expl.
Mobile Hochwasserschutzsysteme
Grundlagen für Planung
und Einsatz

zum Preis von

30,- €

20,- €

für BWK-Mitglieder

Name _____

Straße _____

PLZ Ort _____

Datum, Unterschrift _____