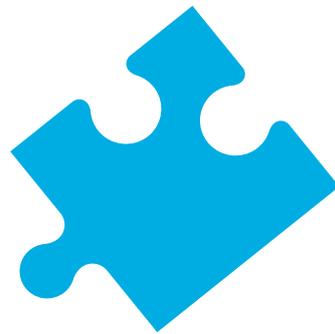


HESSEN

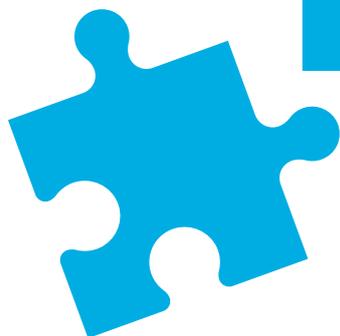
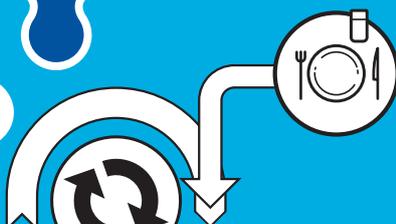


TECHNOLOGIELAND  
HESSEN



# BIOBASIERTE TECHNOLOGIEN DER ZUKUNFT

Für eine bessere Nutzung  
biogener Ressourcen



# VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,

**nachwachsende Rohstoffe und ressourcenschonende Verfahren** sind die Antwort auf Herausforderungen wie die Klimaerwärmung und die Endlichkeit fossiler Brennstoffe. Der Übergang zu einer solchen Bioökonomie wird ganze Wertschöpfungsketten und Industriebranchen tiefgreifend verändern. Dieser Wandel birgt Chancen - gerade für ein Technologieland wie Hessen. Die Landesregierung leistet ihren Beitrag, um Biotechnologie-Unternehmen und Forschungseinrichtungen zu vernetzen und damit Innovationen zu fördern.

**Großes Potenzial als künftige Rohstoffquellen versprechen regionale Abfallströme** - diese Broschüre zeigt Ihnen Beispiele, wie daraus intelligente Verwertungskreisläufe werden können. Hessen als traditionell starker Chemie- und Pharmastandort hat alle Voraussetzungen, sich diese Potenziale zu erschließen.

Ich wünsche Ihnen eine anregende Lektüre.

Tarek Al-Wazir  
Hessischer Minister für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Wohnen



„Regionale Abfallströme bergen großes Potenzial als künftige Rohstoffquellen.“

Tarek Al-Wazir  
Hessischer  
Wirtschaftsminister

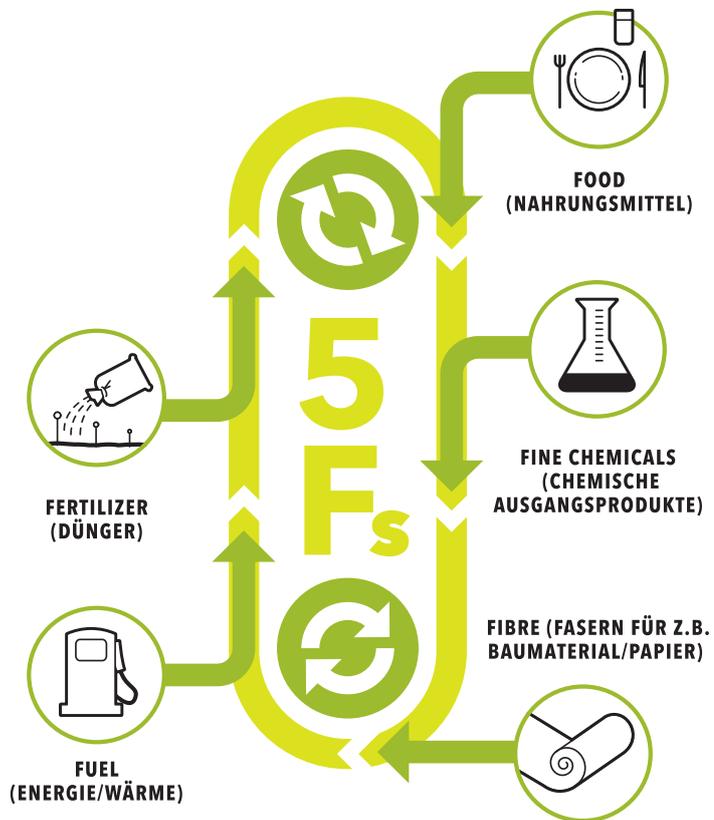
## ALTERNATIVER ABFALL

Neue Technologien, Verfahren, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle werden helfen, die Art und Weise, in der wir produzieren und konsumieren, weiter zu verändern. Bedeutend für eine ressourcenschonende und effiziente Produktion wird zukünftig sein, wie wir mit Abfällen aus der Herstellung und Nutzung von Waren umgehen.

Eine besondere Herausforderung ist die **optimale Nutzung stofflicher und energetischer Potenziale von biogenen Stoffströmen**. Je nach Zusammensetzung wird Abfall gegenwärtig entweder thermisch verwertet oder endgültig einer Deponielagerung zugeführt. Damit wird sein Gehalt an Wertstoffen für neue Produktlebenszyklen bei weitem nicht ausgeschöpft.

Angestrebt wird die **Entwicklung der sogenannten Kreislaufwirtschaft**, die das Potenzial einer Ressource optimal ausschöpft. Dabei gilt: alle Rohstoffe oder daraus hergestellte Produkte müssen so lange, so häufig und so effizient wie möglich genutzt werden. Im Anschluss an ihr Produktlebensende müssen alle Rohstoffe über einen Recyclingprozess der Wertschöpfungskette wieder zugeführt werden. In Zukunft wird es dabei vor allem auf das Schließen von Stoffkreisläufen und die Verwertung von bisher ungenutzten Reststoffen ankommen.

Die vorgestellten Anwendungsbeispiele verdeutlichen den zukünftigen Einsatz innovativer Konversionstechnologien. Sie werden dank der **lokalen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte in Hessen** unter technischen und wirtschaftlichen Kriterien weiterentwickelt.



## ABFALLVERWERTUNG IM KREISLAUFMODELL

Aus dem Prinzip der Kreislaufwirtschaft folgt, dass auch **biobasierte Ressourcen in einer Wertschöpfungskaskade** genutzt werden. Dieses Kaskadenmodell wird international als die 5F-Kaskade\* bezeichnet: Food (Lebensmittel), Fine Chemicals (chem. Ausgangsprodukte), Fiber (Fasern für z. B. Baumaterial/Papier), Fuel (Energie/Wärme) und Fertilizer (Dünger).

Daraus wird deutlich: **Unsere erste Priorität gilt der Erzeugung von Nahrung**, dann der Nutzung des Rohstoffs in verschiedenen Stufen der Verwertung und an letzter Stelle der Rückführung als Dünger für neue Lebensmittel. Dabei sollen die Stoffe fließend von höheren in niedrigere Wertschöpfungsniveaus übergehen und am Ende des Kreislaufs wieder der Nahrungsmittelproduktion dienen, um damit einen geschlossenen biologischen Kreislauf zu bilden.

\*Quelle: OECD: Industrial Biotechnology and Climate Change, 2011, S. 16

# BIOÖKONOMIE IN HESSEN: AUF DEM WEG IN DIE ZUKUNFT

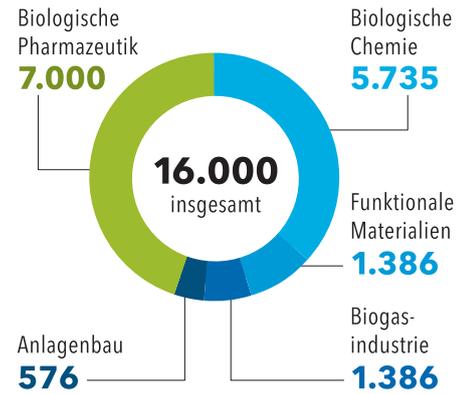
Quelle: Hessen Trade & Invest (Hrsg.)  
Bioökonomie in Hessen (Juli 2017)

Als eines der ersten Länder hat Deutschland eine ressortübergreifende Forschungsstrategie vorgestellt und damit erstmals konkrete Möglichkeiten für einen biobasierten Wandel von Industrie und Gesellschaft aufgezeigt. Hessen hat sich in seinem Positionspapier klar zu der Notwendigkeit und den Möglichkeiten durch die Umsetzung der Bioökonomie bekannt. **Die Metropolregion Rhein-Main bekommt dabei eine besondere Bedeutung:** als Finanz- und Wissenschaftsstandort sowie als Drehscheibe des internationalen Verkehrs ist sie eines der wichtigsten Wirtschaftszentren Deutschlands und Europas, dessen Einwohnerzahl beständig wächst. Hessen ist damit zentraler Knotenpunkt für ein- und ausgehende Güter, Produkte und Rohstoffe verschiedenster Wirtschaftszweige. Zahlreiche **Unternehmen der Chemie- und Pharmaindustrie und auch der industriellen Biotechnologie bilden einen regionalen Schwerpunkt.** Damit verbunden ist eine intensive Forschungstätigkeit innerhalb und außerhalb der wissenschaftlichen Institute in Hessen.

## ANZAHL DER HESSISCHEN BIOÖKONOMIEUNTERNEHMEN NACH TECHNOLOGIEFELDERN



## MITARBEITER IN DER BIOÖKONOMIE



## UMSATZ PRO JAHR VERARBEITENDES GEWERBE 2016 IN HESSEN



Die Chemie- und Pharmaindustrie liefert mit 26 Milliarden Euro Jahresumsatz nahezu ein Viertel der gesamten Wirtschaftsleistung der verarbeitenden Industrie in Hessen. Gut ein Drittel hiervon, 8 Milliarden Euro, entfällt auf die Wertschöpfung aus Produkten und Prozessen der Bioökonomie – damit **ist Hessen ein bedeutender Standort in Sachen bioökonomischer Wirtschaftsleistungen.** Neue biotechnologische Verfahren und biobasierte Erzeugnisse können in diesem Wirtschaftszweig zukünftig Umsatzsteigerungen von ca. 10 bis 15 Prozent pro Jahr bewirken und damit insgesamt 58.000 Arbeitsplätze bieten.

# BIOÖKONOMIE AUF ERFOLGSSPUR IN HESSEN

Merck wird in Darmstadt gegründet. Es ist damit weltweit das älteste Pharmaunternehmen.

1668

1863

Der Vorläufer der Höchst AG wird in Frankfurt gegründet.

Degussa, Vorläufer der Evonik Degussa GmbH in Essen, wird in Frankfurt am Main gegründet.

1873

1907

Die Röhm & Haas AG aus Darmstadt stellt die ersten industriellen Enzyme her, die die Lederindustrie revolutionieren und die Grundlage für moderne Waschmittel sind.

Die Degussa AG bringt die erste Arminosäure aus chemischer Synthese auf den Markt.

1947

Die Hoechst AG erhält die Genehmigung zur biotechnischen Herstellung von Insulin.

1994

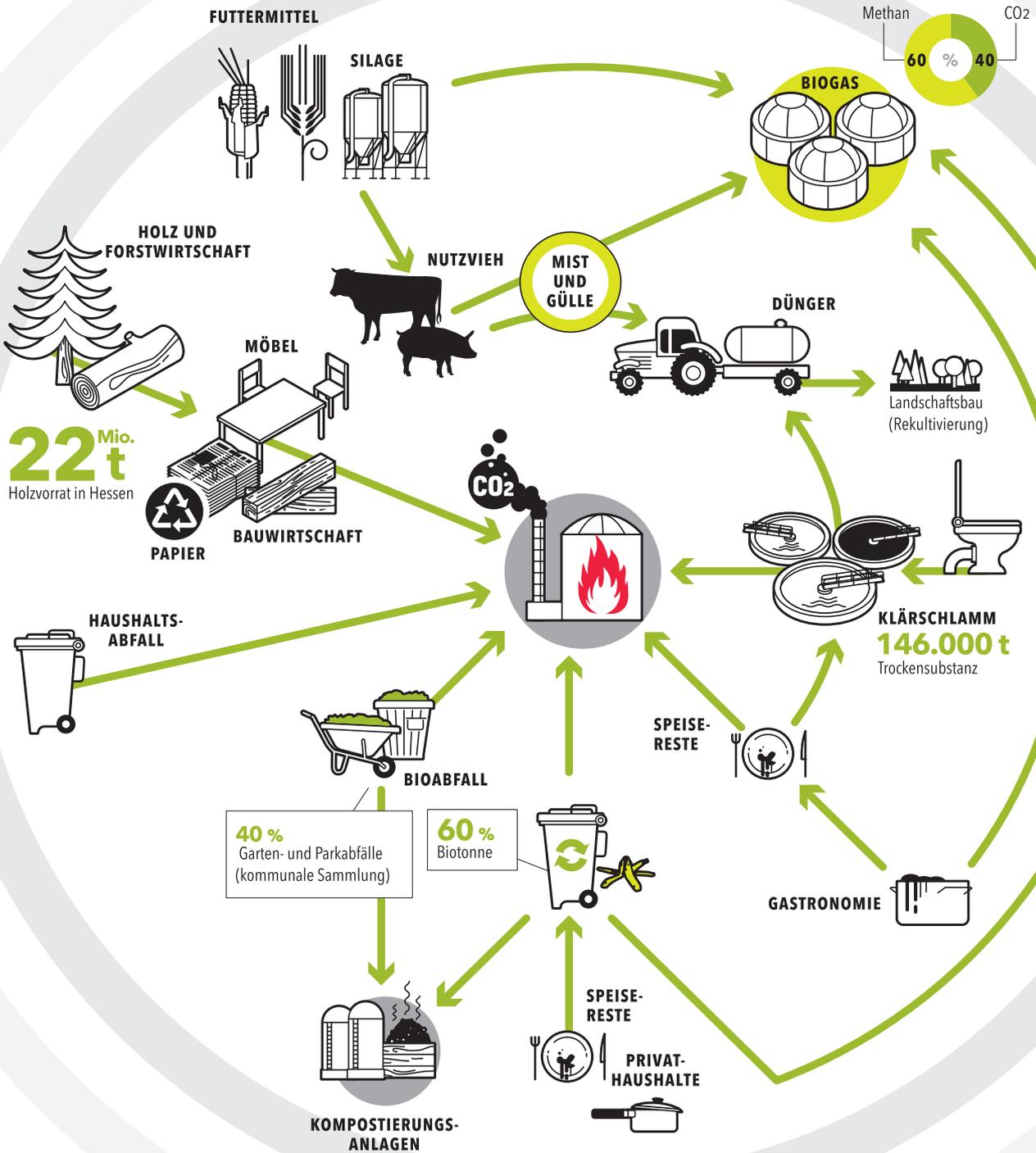
Clariant im Industriepark Höchst produziert als erster Hersteller biobasierte Hochleistungspigmente.

2014

Die BRAIN AG wird als erstes Bioökonomie-Unternehmen an der deutschen Börse gelistet. Bereits 1993 gegründet, setzt die BRAIN damit ihren Erfolgsweg auf dem Gebiet der industriellen Bioökonomie fort.

2016

# BIOGENE STOFFSTRÖME IM RHEIN-MAIN-GEBIET

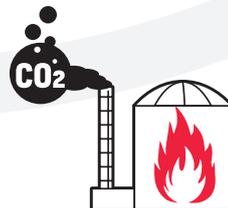


**BIOABFALL 2015**  
im Rhein-Main-Gebiet

**688.000 t**



Bei der **Bioabfall-Verwertung** gewinnen **Vergärungsprozesse** gegenüber der reinen Kompostierung an Bedeutung, um das stoffliche Potenzial besser zu nutzen.



In Hessen wird ein **beträchtlicher Teil biogener Stoffströme thermisch verwertet**, anstatt Teil eines Verwertungskreislaufs zu sein.

# WO FALLEN HEUTE BIOGENE ABFÄLLE AN UND WIE WERDEN SIE VERWERTET?

Die Bürger und Betriebe in Hessen hinterlassen pro Jahr knapp 6 Millionen Tonnen Abfall. Allein im Rhein-Main-Gebiet stehen jährlich rund 3 Millionen Tonnen verwertbarer Reststoffe zur Entsorgung an. Diese stammen aus Siedlungs- und Industrieabfällen, landwirtschaftlichen Nebenprodukten sowie der Holz- und Forstwirtschaft. Dank einer inzwischen fast flächendeckenden Einführung der Biotonne hat der Anteil an häuslichen Bioabfällen in den letzten Jahren stark zugenommen. Hinzu kommen Garten- und Parkabfälle, sodass stattliche 688.000 Tonnen an komplexen biogenen Abfällen verwertet werden können.

Für die Bioökonomie besonders attraktiv sind die in hohen Mengen anfallenden komplexen biogenen Stoffströme von Bioabfall, Klärschlamm und biogenen Gasen. Allein in der Metropolregion stehen insgesamt ca. 1 Million Tonnen biogener Abfälle für eine bioökonomische Verwertung zur Verfügung. Knapp 75 Prozent entfallen dabei auf Bio- und Parkabfälle, ca. 15 Prozent auf Klärschlämme und gut 10 Prozent auf Speiseabfälle. Derzeit werden diese Wertstoffe in Müllverbrennungs- und Biogasanlagen hauptsächlich in Energie oder Wärme transformiert - und damit ein großer Teil des stofflichen Potenzials im wahrsten Sinne „verheizt“.

## HESSEN: DEUTSCHLANDS ZENTRUM FÜR BIOÖKONOMIE

Die Metropolregion Rhein-Main und auch Nord- und Mittelhessen zeichnen sich durch ihre Vielfalt an Forschungsinitiativen und innovative Unternehmen aus. Hessen im Zentrum von Deutschland bietet das beste Umfeld für die Weiterentwicklung der Bioökonomie in Deutschland.

Für die Einbindung möglichst aller Abfallstoffe in die Entsorgung und Verwertung müssen die technologischen Voraussetzungen erfüllt sein. Hierzu wird in Hessen gleich an mehreren Standorten intensiv geforscht. Die wissenschaftliche Aktivität rund um das Nutzungspotenzial von biobasierten Abfällen ist herausragend. So befinden sich in Gießen Deutschlands einzige Forschungsstandorte zur Insektenbiotechnologie, in Kassel wird der Aufbau einer Daten- und Wissensbasis zur Bioökonomie koordiniert und Darmstadt bildet einen Forschungsschwerpunkt in Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft.

Die Wirtschaftsförderungsgesellschaft Hessen Trade & Invest bündelt die Maßnahmen zur Technologieförderung des Hessischen Wirtschaftsministeriums. Unter der Dachmarke „Technologieland Hessen“ werden Informationen über technologische Trends, Fördermöglichkeiten für Innovationen und Plattformen zur Vernetzung angeboten. So finden Experten der Wirtschaft, Wissenschaft, Gesellschaft und Politik für ihre Vorhaben die richtigen Partner - auf kurzen Wegen, schnell und unkompliziert.



Forschung/Universitäten



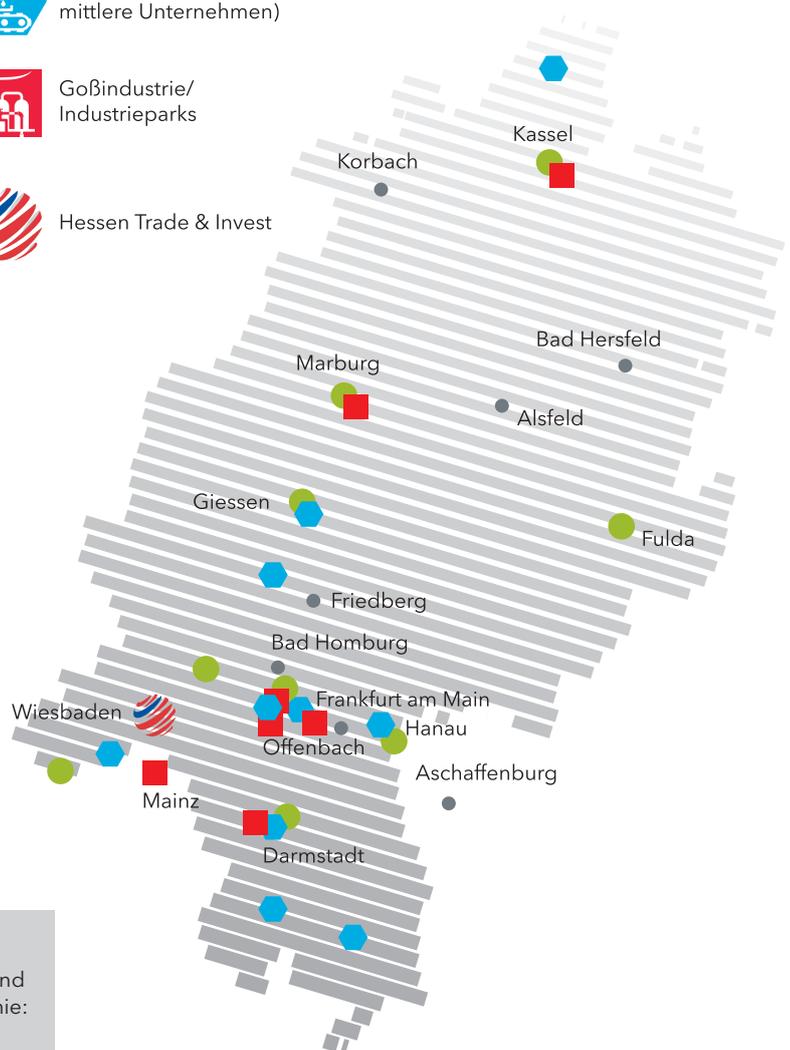
KMUs (Kleine und mittlere Unternehmen)



Goßindustrie/ Industrieparks



Hessen Trade & Invest



Ihr Ansprechpartner im Technologieland Hessen für Life Sciences & Bioökonomie:

Dr. Janin Sameith  
Projektleiterin  
Life Sciences & Bioökonomie  
Tel.: +49 611 95017 8262  
E-Mail: janin.sameith@htai.de

# BIOÖKONOMISCHE ZUKUNFT

Das Aufkommen biogener Rest- und Seitenströme im Rhein-Main-Gebiet bietet eine Vielzahl von Ansatzpunkten für die Einführung von Nutzungskaskaden. Die beispielhaft vorgestellten Konversionstechnologien sind für die Metropolregion Rhein-Main besonders vielversprechend aufgrund der lokalen Verfügbarkeit biobasierter Stoffströme, der Umsetzbarkeit der stofflichen Verwertung und ihres wirtschaftlichen Potenzials. An lokalen Forschungsstandorten werden durch Demonstrations- und Pilotanlagen sowohl die stoffliche Verwertung als auch das wirtschaftliche Potenzial der biogenen Stoffströme im Rhein-Main-Gebiet erschlossen.

Neue Technologien befinden sich ökonomisch in Konkurrenz zu etablierten Herstellungsverfahren auf Basis fossiler bzw. pflanzlicher Roh- und Faserstoffe. Die Erzeugung von **Biopolymeren**, der Einsatz von **Insekten**, die **Klärschlammverwertung** und die biotechnologischen Verfahren zur **Edelmetallrückgewinnung** aus Abfallströmen gelten jedoch als besonders aussichtsreich.

## 2 INSEKTEN-BIOTECHNOLOGIE

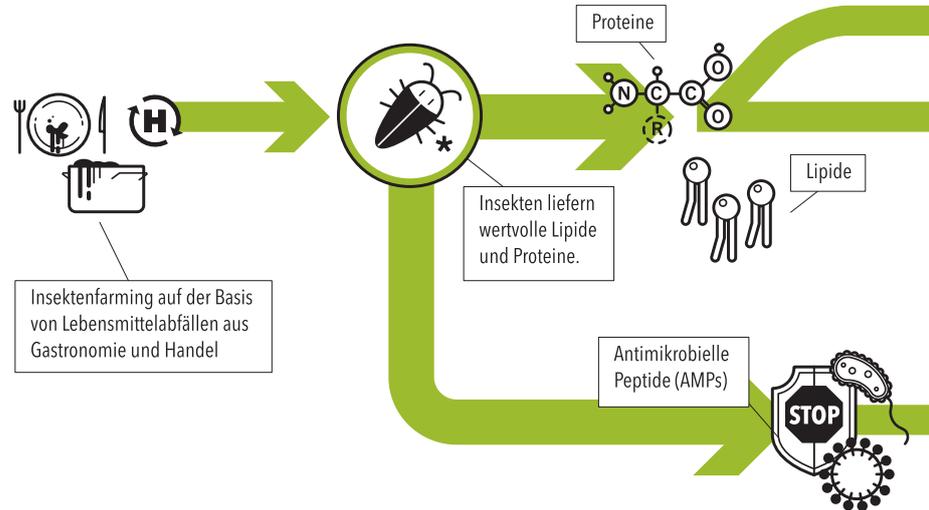
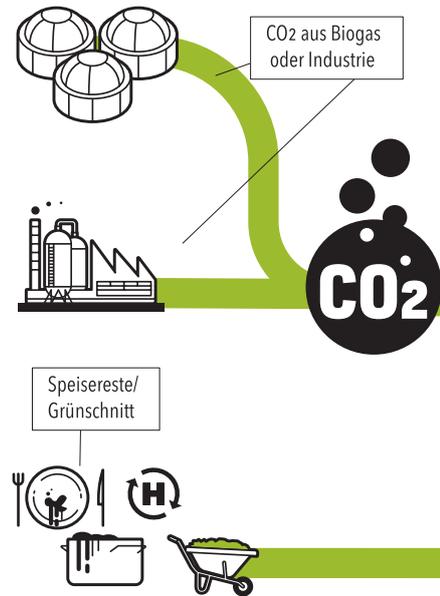
**Insekten sind eine sehr effiziente Bioressource** für Anwendungen in der Medizin, im Pflanzenschutz oder der Industrie. Mit einem enormen Repertoire an Mechanismen schützen sie sich vor Krankheitserregern und erschließen nahezu jedes Substrat als Nahrung. Dank Insekten wird organischer Abfall zu einer Quelle hochwertiger Proteine und Lipide. Insekten haben damit in Zukunft wahrscheinlich auch eine größere Bedeutung für die Ernährung der Weltbevölkerung, entweder indirekt als Tierfutter oder direkt als Proteinquelle für den Menschen.

**Intensive Untersuchungen zur Insektenbiotechnologie** haben gezeigt, dass Insekten antimikrobielle Wirkstoffe produzieren, die völlig neue Wirkungsmechanismen für die Entwicklung innovativer Medikamente ermöglichen. Damit ließen sich zeitnah die Zugabe von Antibiotika im Tierfutter reduzieren und zukünftig neue Medikamente entwickeln. Zudem können Insektenproteine die nicht-toxische Basis für Wundpflaster oder zur Verkapselung von Stammzellen liefern. Auch Pilze sind ein vergleichbarer Wirkstofflieferant und eine Quelle hochwertiger Proteine. Damit eignen sie sich ebenfalls für einen stärkeren Einsatz im Bereich Tierfutter oder als alternative Proteinquelle für Lebensmittel.

## 1 VOM KOHLENDIOXID ZUM BIOPLASTIK

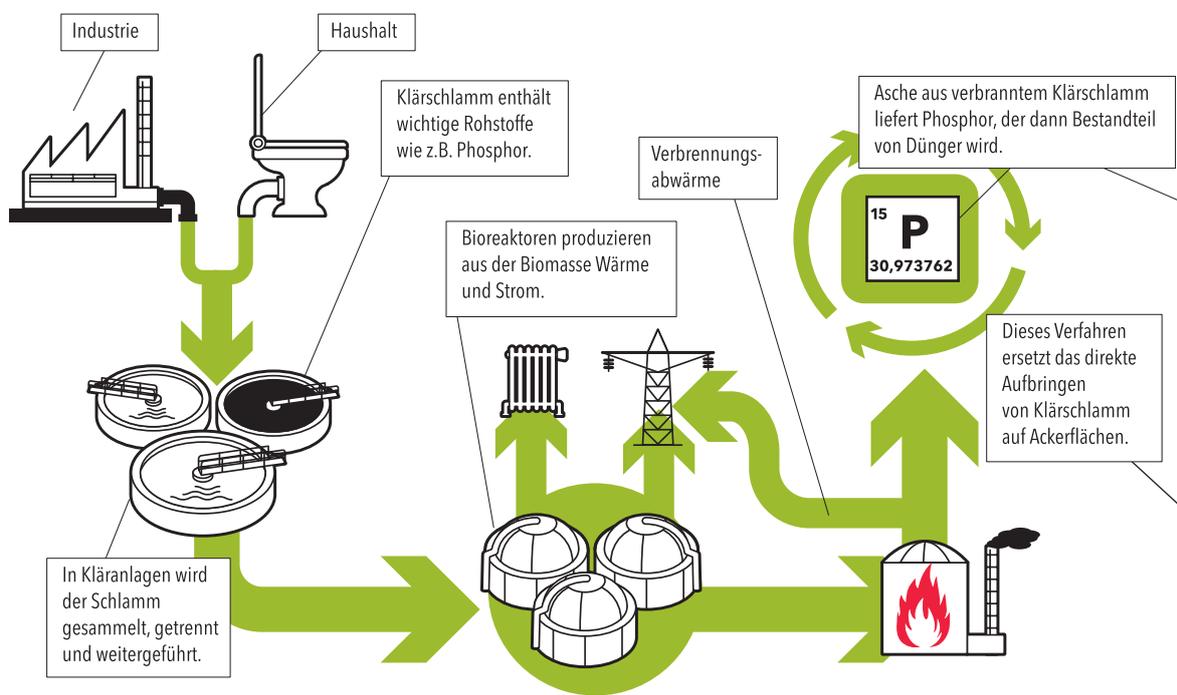
**Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) gilt als klimaschädliches Treibhausgas.** Wird jedoch CO<sub>2</sub> aus der Herstellung von Materialien oder Chemikalien direkt wiederverwertet, ließe sich der Treibhauseffekt minimieren und der Stoffkreislauf für CO<sub>2</sub> schließen. Besonders effektiv ist hier der Einsatz von Mikroorganismen. Ein Beispiel ist die Erzeugung von Milchsäure aus Abgasströmen mit Clostridien. Diese Bakterien können ohne Sauerstoff überleben und das CO<sub>2</sub> biochemisch umwandeln. Die biobasierte Milchsäure wird von der weiterverarbeitenden Industrie als Basis für Plastikpolymere von Verpackungsmaterialien oder als Ausgangsmaterial für Kosmetika, Lebensmittel und Pharmazeutika genutzt.

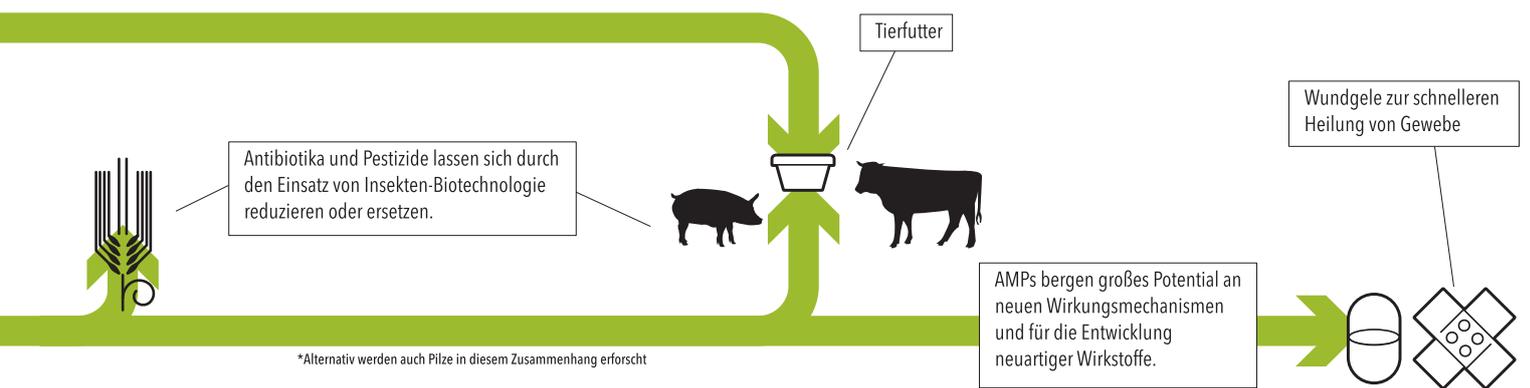
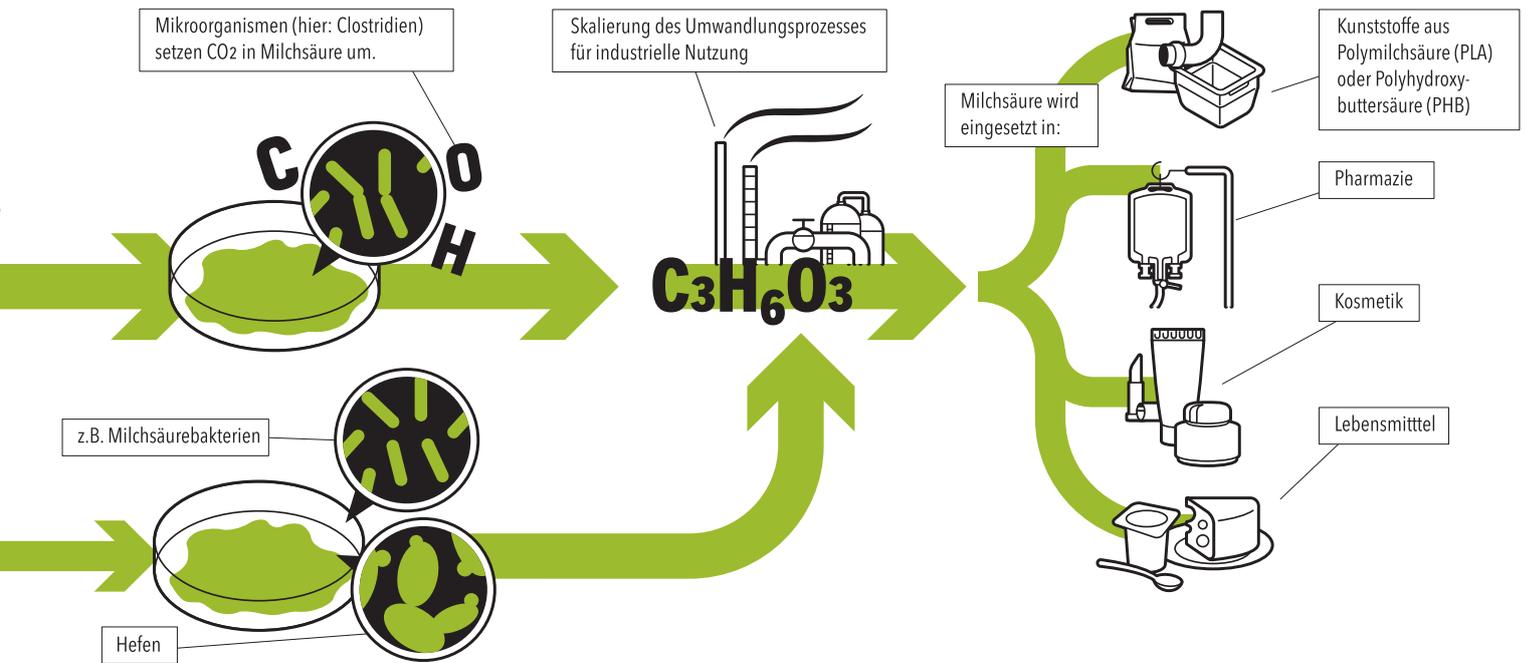
Eine weitere Möglichkeit biobasierte Milchsäure zu produzieren, ist die direkte Verwertung von Speiseresten und Biomüll durch Mikroorganismen. Hier eignen sich verschiedene Bakterien und Hefen, die bereits heute biotechnologisch verwendet werden. Doch statt der heute genutzten stärkehaltigen Nutzpflanzen lassen sich in Zukunft nachhaltigere biogene Abfälle für die Produktion nutzen.



## 3 KLÄRSCHLAMM-VERWERTUNG

Zwei Drittel des kommunalen Klärschlammaufkommens werden **thermisch verwertet**, ein Drittel kommt in der Bodenkultivierung zum Einsatz. Klärschlamm wird in der Landwirtschaft nach einer Kompostierung und Anreicherung mit anderen Stoffen als Düngemittel eingesetzt. Aufgrund seiner Schadstoff- und Schwermetallbelastung schränkt die Klärschlammverordnung von 2017 seine bodenbezogene Nutzung zukünftig ein. Je nach Größe haben Kläranlagenbetreiber zwischen zwölf und fünfzehn Jahre Zeit für die Umsetzung. Für die Klärschlammäsche wird eine Rückgewinnungsquote von 80 Prozent angestrebt, für den wässrigen Klärschlamm 50 Prozent. Aktuell großtechnisch eingesetzte Verfahren erzielen Quoten von 25-30 Prozent. Es besteht ein erhöhter Handlungs- und Forschungsbedarf nach alternativen Verwertungswegen, wie beispielsweise hydrothermale Karbonisierung oder Verfahren zum Phosphorrecycling.

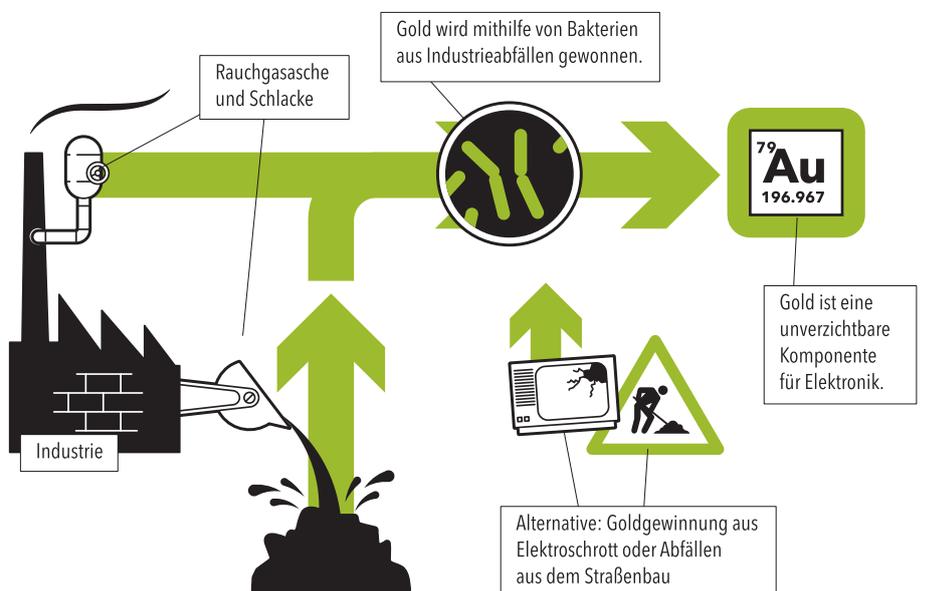




## 4 EDELMETALLE AUS ABFALL

Konventionelles Edelmetall-Recycling ist mit hohem Energieaufwand, aber auch dem Einsatz und der Freisetzung von giftigen Chemikalien verbunden.

Die Forschung und Entwicklung umfasst derzeit beispielsweise Mikroorganismen, mit denen besonders problematische Schadstoffe aus Klärwässern oder Rauchgasen entfernt werden. Dazu gehören wiederum Bakterien, die Kohlendioxid stofflich verwerten, ebenso wie solche, die im grünen Bergbau („Green Mining“) umweltschonend Seltene Erden oder Edelmetalle wie Gold oder Silber extrahieren, die in der High-Tech-Industrie dringend benötigt werden. Von ökonomischem Interesse ist beispielsweise die Einschätzung, dass der Gold- und Silbergehalt auf Computerplatinen bis zu 200 Mal höher ist als der natürliche Erzgehalt. Auch Baumaterialien und Abfälle aus dem Straßenbau bergen wahre Edelmetallschätze. Biotechnologisches Edelmetall-Recycling wird einen entscheidenden Beitrag für die nachhaltige Nutzung von Metallen leisten.



**Herausgeber:**

Hessen Trade & Invest GmbH  
Technologieland Hessen  
Konradinallee 9  
65189 Wiesbaden  
Tel.: +49 611 950 17-85  
Fax: +49 611 950 17 8466  
E-Mail: [info@technologieland-hessen.de](mailto:info@technologieland-hessen.de)  
[www.technologieland-hessen.de](http://www.technologieland-hessen.de)

**Redaktion:**

Verena Übelhör  
Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Wohnen

Dr. Janin Sameith  
Hessen Trade & Invest GmbH

Den Inhalten dieser Broschüre liegen zwei Studien zugrunde (beide 2017): "Biogene Stoffströme in der Rhein-Main-Region" und "Erfassung von Schwerpunkttechnologien für Verfahren und Prozesse zur Verarbeitung biogener Stoffströme in Hessen am Beispiel der Rhein-Main-Region"  
Auftraggeber der Studien ist die Hessen Trade & Invest GmbH

**Veröffentlichungsdatum:**

März 2019

**Informationsdesign und Texterstellung:**

Stephen Swierczynya und Carmen Weber  
[CAEPSELE\\_visuelle Strategien, caepsele.de](http://CAEPSELE_visuelle Strategien, caepsele.de)

**Layout:**

Grundfarben Werbeagentur

© Hessisches Ministerium für Wirtschaft,  
Energie, Verkehr und Wohnen  
Kaiser-Friedrich-Ring 75  
65185 Wiesbaden  
E-Mail: [info@wirtschaft.hessen.de](mailto:info@wirtschaft.hessen.de)

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Hessischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlkampfveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Die genannten Beschränkungen gelten unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl die Druckschrift dem Empfänger zugegangen ist. Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf eine Geschlechtsspezifische Differenzierung von funktions- bzw. personenbezogenen Bezeichnungen, wie zum Beispiel Teilnehmer/-innen, verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und die Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in der Veröffentlichung geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit der Meinung des Herausgebers übereinstimmen.

**Druck**

A&M Service GmbH, Elz

**HESSEN**

Hessisches Ministerium  
für Wirtschaft, Energie,  
Verkehr und Wohnen

**Projektträger:**

HESSEN  
TRADE & INVEST

Wirtschaftsförderer für Hessen

