

# Zirkuläre Bioökonomiestrategie Landeshauptstadt Stuttgart (ZirBioS)

Version 1.3 (Juli 2024)





**Projektleitung:**

Dr. Max Schuchardt

**Projektteam:**

Florian Sorg (Koordination Kreislaufwirtschaft LHS)  
Lisa Krüger (Leitung Team Klima-Strategie und -Koordination LHS)  
Prognos & Fraunhofer IGB (Dienstleister)  
Carbon Instead gGmbH (Dienstleister)

*Die Strategieentwicklung wurde gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, im Rahmen der Landesstrategie nachhaltige Bioökonomie, finanziert aus Mitteln, die der Landtag Baden-Württemberg beschlossen hat.*

**Unter Mitarbeit von:**

Garten-, Friedhofs- und Forstamt LHS  
Stadtentwässerung Stuttgart (SES; Eigenbetrieb)  
Haupt- und Personalamt LHS  
Abfallwirtschaft Stuttgart (AWS; Eigenbetrieb)  
Hochbauamt LHS  
Amt für Umweltschutz LHS  
Tiefbauamt LHS  
Wirtschaftsförderung LHS  
Amt für Stadtplanung und Wohnen LHS

GEFÖRDERT DURCH



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

**prognos**  
Wir geben Orientierung.

**Carbon Instead**

**Fraunhofer**  
IGB

# Inhalt

Abkürzungsverzeichnis & Glossar	4
Vorwort	5
1. Bioökonomie	6
2. Ziele und Vision der Zirkulären Bioökonomiestrategie der LHS	8
2.1 Ausgangslage und Entstehung	
2.2 Ziele und Vision der Bioökonomiestrategie	
3. Negativemissionen und Kohlenstoffsenken	9
4. Projektarbeit/Ergebnisse	11
4.1 Identifikation von Bioökonomie-Stakeholdern in der LHS	
4.1.1 Methodisches Vorgehen	
4.1.2 Ergebnis	
4.2 Stoffstromanalyse	13
4.2.1 Methodisches Vorgehen	
4.2.2 Ergebnis	
4.3 Potenzialanalyse	16
5. Maßnahmenübersicht	23
6. Fazit	24
Themenspeicher	25
Literaturnachweise	26
Anhang	27
Impressum	28



## GLOSSAR

### CCU

Als Carbon Capture and Utilization werden Abscheidung, Transport und die anschließende Nutzung von Kohlenstoffverbindungen bezeichnet. Der Kohlenstoff wird dadurch mindestens einem weiteren Nutzungszyklus zugeführt und ist innerhalb der Produktlebenszeit gespeichert. CCU zählt nur als C-Senke, wenn der Kohlenstoff über lange Zeit in einem Produkt oder einer Anwendung gebunden ist (siehe Permanenz).

### CDR

Als Carbon Dioxide Removal werden Technologien bezeichnet, die darauf abzielen, Kohlendioxid aus der Erdatmosphäre zu entfernen und langfristig zu speichern. Dadurch wird der CO<sub>2</sub> Gehalt der Atmosphäre reduziert und die Klimakrise bekämpft. Im Gegensatz zu Carbon Capture and Storage (CCS) Technologien, die darauf abzielen CO<sub>2</sub> Emissionen an der Quelle abzuscheiden, zielend CDR Technologien drauf ab, bereits in der Atmosphäre vorhandenes CO<sub>2</sub> zu entfernen.

### C-SENKEN

Kohlenstoffsinken spielen eine enorme Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf und im Kampf gegen die Klimakrise. Natürliche C-Senken sind Ozeane, Wälder oder Permafrostböden, welche über lange Zeit mehr Kohlenstoff aufgenommen als abgegeben haben. Diese natürlichen C-Senken sind durch die Klimakrise bedroht und in Teilen bereits bilanziell zu einer C-Quelle geworden. Die Permanenz einer C-Senke ist entscheidend (siehe Permanenz).

### EMISSION GAP

Emissionslücke, Dokumentation der Lücke zwischen vereinbarten Klimazielen und tatsächlicher Klimapolitik. Nimmt man alle heute angestrebten Zusagen der Staatengemeinschaft (NDC's) zusammen, wird eine Erderwärmung von 2,5-2,9°C bis zum Ende dieses Jahrhunderts erreicht (UNEP, Emissions Gap Report 2023).

### LHS

Landeshauptstadt Stuttgart

### PERMANENZ

Die Permanenz beschreibt die Langlebigkeit einer Kohlenstoffsinke. Also wie lange das Kohlenstoffatom gebunden oder sequestriert ist. Darüber hinaus wird das Wort Permanenz auch im Zusammenhang mit der Verbleibdauer eines CO<sub>2</sub> Moleküls in der Atmosphäre verwendet. Ein Teil des CO<sub>2</sub>, welches heute emittiert wird, ist, durch den langsamen Abbau in der Atmosphäre, auch noch in mehreren hundert Jahren als wirksames Treibhausgas vorhanden.

### THG

Treibhausgasemissionen

### ZERTIFIZIERTE PFLANZENKOHLE

Durch die Zertifizierung (z. B. EBC-Zertifikat) kann die nachhaltige Produktion von Pflanzenkohle sichergestellt werden. Damit können Pflanzenkohle-Produzenten die Qualität der Pflanzenkohle (PAK, PCB, PCDD/F) gegenüber Anwendern und Behörden nachweisen und garantieren (EBC 2023).

# Vorwort

Stuttgart will bis 2035 klimaneutral werden. Das hat der Gemeinderat auf Vorschlag des Oberbürgermeisters im Juli 2022 beschlossen und daran arbeiten wir konsequent. Dabei folgen wir vielen bewährten Prinzipien wie dem effizienten Einsatz von Energie und dem Energiesparen. Und natürlich geht es auch um den Ersatz fossiler Energien durch erneuerbare Energie.

Um diese Transformation zu schaffen, müssen wir uns auch Stoffströme ansehen. In die Stadt Stuttgart fließen jedes Jahr über 14 Millionen Tonnen an Material und Gütern. Die Kreislaufwirtschaft und Bioökonomie hilft dabei, diese Stoffströme so verträglich wie möglich zu gestalten. Die Bioökonomie beschreibt, kurz gesagt, eine Wirtschaftsweise, die sich biologische Ressourcen, Prozesse und Prinzipien zunutze macht, um Produkte und Dienstleistungen anbieten zu können. Ein besonderer Fokus liegt in der hier vorliegenden Strategie auf den Biomasse-Strömen der Landeshauptstadt Stuttgart.

Ziel der Bioökonomie ist es, erstens, fossile Materialien so gut wie möglich durch biologische Stoffe zu ersetzen, und zweitens, die biogenen Stoffströme bestmöglich zu nutzen. Die Landeshauptstadt, ihre Ämter und Eigenbetriebe verarbeiten tagtäglich große Mengen an biologischen Stoffen, vom Grün- und Bio-Abfall bis hin zum Klärschlamm. Und auch wenn diese Stoffe im Alltag der meisten Menschen keine große Rolle spielen, so steckt in ihnen doch enormes Potenzial.

Mit der zirkulären Bioökonomiestrategie der Landeshauptstadt Stuttgart zeigen wir auf, welche Zukunftsfelder und Potenziale eine nachhaltige und kreislauforientierte Bioökonomie in Stuttgart bietet. Dazu legen wir 22 konkrete Maßnahmen vor, die in den nächsten Jahren umgesetzt werden können. Darunter finden sich erstmals auch Maßnahmen, mit



denen Kohlenstoff dauerhaft im Boden, auf begrünten Dachflächen oder in Zement und Beton gespeichert werden kann. Dabei werden dringend notwendige Kohlenstoffsinken geschaffen. Darüber hinaus wollen wir durch die Umsetzung der einzelnen Maßnahmen unnötige Abfälle vermeiden und Treibhausgase einsparen.

Ein besonderer Dank geht an die Kolleginnen und Kollegen aus den Ämtern und Eigenbetrieben, die die Potenzialanalyse mit Leben gefüllt haben. Ebenso danke ich dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, das durch seine Förderung die Erstellung der Strategie ermöglicht hat.

**Martin Körner**

Leitung Grundsatzreferat für Klimaschutz,  
Mobilität und Wohnen, Landeshauptstadt Stuttgart

# Bioökonomie

Die Landeshauptstadt Stuttgart (folglich LHS) definiert Bioökonomie in Anlehnung an die Definition der Landesregierung als eine Wirtschaftsweise, die durch die wissenschaftsbasierte Erzeugung und Nutzung biologischer Ressourcen, Prozesse und Prinzipien, mit deren Hilfe Produkte und Dienstleistungen in allen wirtschaftlichen Sektoren im Rahmen eines zukunftsfähigen Wirtschafts- und Gesellschafts-systems bereitstellt (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019). Hierbei ist die Bioökonomie mehr als eine Substitutionsstrategie für fossile Rohstoffe (z.B. Verpackungsmaterialien aus Zellulose anstelle von erdölbasiertem Plastik). Vielmehr zielt „eine nachhaltige Bioökonomie auf ein intelligentes Management von natürlichen Ressourcen und regionalen Stoffströmen zur Bereitstellung von Nahrungs- und Futtermitteln sowie Materialien und Rohstoffen für die stoffliche und energetische Nutzung ab“ (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg 2019).

Beispielsweise können knappe Ressourcen wie Phosphor und Stickstoff aus Klärschlamm gewonnen werden, statt diese Rohstoffe, wie über Jahrzehnte praktiziert, in Bergwerken zu verkippen. Aus kommunalem Grünschnitt kann zertifizierte Pflanzenkohle hergestellt werden, in welcher der Kohlenstoff über mehrere Jahrhunderte gespeichert wird. Eine solche Kohlenstoffsene ist nicht nur aus bioökonomischer Sicht sinnvoll: Aus klimatologischer Sicht bietet zertifizierte Pflanzenkohle eine heute anwendungsreife Technologie, um Negativemissionen zu generieren.

Ein Fokus liegt auch auf dem Schließen von Kreisläufen durch innovative biologische und chemische Prozesse. Hierbei werden beispielsweise Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie, Abfälle biogenen Ursprungs oder Abwässer als Ressource für Neues genutzt. Ein immer prominenter werdendes Beispiel ist die Kohlenstoffabscheidung in Verbrennungsanlagen (z. B. bei der Abfallverbrennung, Klärschlammverbrennung, Holzverbrennung). Diese kann in Zukunft einen signifikanten Beitrag zu Negativemissionen leisten. Denn was heute gar nicht erst in Form von Treibhaus-

gasen emittiert wird, muss übermorgen nicht energieintensiv aus der Atmosphäre gezogen werden (Kotz et al. 2024).

Da in der Kreislaufwirtschaft im Sinne der Circular Economy (Europäische Union 2023) Produkte so lange wie möglich genutzt werden sollen, ist die Verbrennung immer stets die ultima ratio. Dieses Ziel ist in Deutschland mit der Abfallhierarchie (Vermeidung, Wiederverwendung, Recycling, energetische Verwertung, Beseitigung) im Kreislaufwirtschaftsgesetz enthalten. Bezogen auf Biomasse kommt das Umweltbundesamt bereits 2014 zu der Aussage: „Im Falle einer Kaskadennutzung des Rohstoffs (erst stofflich – so oft wie möglich – und am Ende energetisch) ist die stoffliche Nutzung der energetischen weit überlegen.“ (Carus et al. 2014). Diesem Prinzip, die stoffliche Nutzung der energetischen vorzuziehen, folgt die vorliegende Strategie mehrheitlich.

Durch das Schließen von Kreisläufen und die kaskadische Nutzung (stoffliche vor energetischer Nutzung) trägt die Bioökonomie dazu bei, THG-Emissionen zu senken, natürliche Ressourcen zu schonen und die Biodiversität zu stärken. Durch bioökonomische Ansätze wird ein klimaneutrales Wirtschaftsfundament ermöglicht. Dieses ist essenziell für das Erreichen der Klimaneutralität der Landeshauptstadt Stuttgart bis 2035 und trägt auch dazu bei, Wohlstand, Wirtschaftskraft und innovative und zukunftsfähige Arbeitsplätze in der Region zu sichern.

„Intelligentes  
Management von  
natürlichen Ressourcen  
und regionalen  
Stoffströmen“

„Was heute gar nicht  
erst in Form von  
Treibhausgasen emittiert  
wird, muss übermorgen nicht  
energieintensiv aus  
der Atmosphäre gezogen  
werden.“

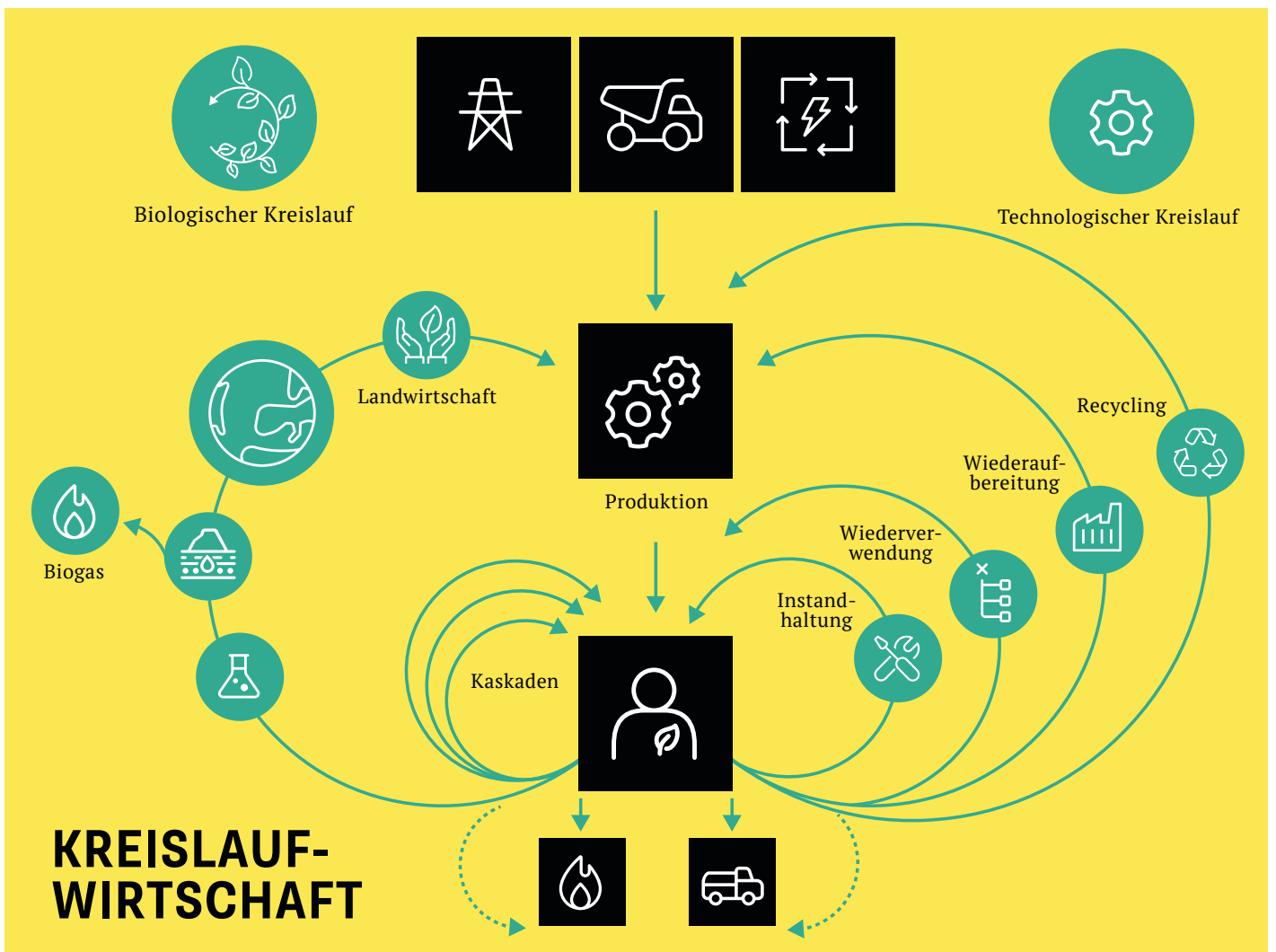


Abb. 1: Bioökonomie als essentieller Teil der Kreislaufwirtschaft. Die linke Seite des Schmetterlingendiagramms befasst sich mit dem biologischen Kreislauf, der Bioökonomie, während die rechte Seite des Diagramms den technologischen Kreislauf der Kreislaufwirtschaft darstellt.



# Ziele und Vision der Zirkulären Bioökonomiestrategie der LHS

## AUSGANGSLAGE UND ENTSTEHUNG

Die Landeshauptstadt Stuttgart ist die Kernstadt der europäischen Metropolregion Stuttgart, in der rund 5,3 Millionen Menschen leben. Stuttgart bildet einen der größten Ballungsräume Deutschlands mit rund 2,8 Millionen Einwohnerinnen und Einwohnern in der Region und über 600.000 Menschen in der Stadt Stuttgart. Von den rund 524.000 Erwerbstätigen mit Arbeitsplatz in Stuttgart sind 19 % im produzierenden Gewerbe und 80 % im Dienstleistungssektor tätig.

Im Juli 2022 hat der Gemeinderat das Ziel verabschiedet, dass Stuttgart bis 2035 klimaneutral werden soll. Wesentliche Grundlage hierfür war die Studie „Net-Zero Stuttgart“, die den Klima-Fahrplan der Landeshauptstadt darstellt (Landeshauptstadt Stuttgart 2022). Der Klimafahrplan enthält 17 Maßnahmenpakete, die die Stadt zur Erreichung der Klimaneutralität umsetzen muss.

Die Ressourcenwende wird in Maßnahmenpaket 16 „Reduktion grauer Energie durch eine Kreislaufwirtschaftsstrategie“ adressiert. Koordiniert wird die Planung und Umsetzung der Maßnahme durch einen Koordinator Kreislaufwirtschaft, der in der Stabsstelle Klimaschutz angesiedelt ist. Der ganzheitliche strategische Ansatz umfasst hierbei neben der klassischen Abfallwirtschaft die technischen Kreisläufe einerseits und die biologischen Kreisläufe andererseits. Eine urbane, zirkuläre Bioökonomiestrategie der LHS (ZirBioS) ist damit integraler Bestandteil einer holistischen Kreislaufwirtschaftsstrategie der Landeshauptstadt. Mit der Bioökonomiestrategie wird eine Grundlage geschaffen, die fortlaufend um weitere Aspekte der Bioökonomie, auch über die Kreislaufwirtschaft hinaus, erweitert werden kann.

Das Projekt wurde vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg im Zeitraum vom 01.02.23 bis 31.08.24 gefördert.

## ZIELE UND VISION DER BIOÖKONOMIESTRATEGIE

Die vorliegende Strategie stellt erstmals die Weichen für die koordinierte Umsetzung des Themas Bioökonomie in der Landeshauptstadt Stuttgart. Folgende Ergebnisse soll die Strategie erreichen:

- Aufstellung bestehender Akteure und Aktivitäten in der Bioökonomie im Stadtgebiet
- Kartierung biogener (Rest-)Stoffe im Stadtgebiet
- Aufzeigen und Quantifizierung der Art der (Rest-) Stoffe im Stadtgebiet
- Potenzialanalyse für ungenutzte oder untergenutzte biogene Stoffströme
- Prüfung der Möglichkeit zur Schaffung urbaner Kohlenstoffsinken aus biogenen (Rest-)Stoffen
- Umsetzung von Direktmaßnahmen
- Umsetzung von Piloten (wenig erprobte Prozesse und Technologien)

An der Erstellung der Bioökonomiestrategie der Landeshauptstadt Stuttgart hat sich eine Vielzahl von Ämtern und Eigenbetrieben beteiligt. Darüber hinaus wurde im engen Austausch mit den lokalen Akteuren zusammengearbeitet, um möglichst praxisnahe und umsetzbare Maßnahmen zu entwickeln.

Bei der Bearbeitung stand die folgende Vision im Vordergrund: *Biogene Reststoffe werden im gesamten Stadtgebiet in Anlehnung an das Kreislaufwirtschaftsgesetz kaskadisch genutzt. Die stoffliche Nutzung steht hierbei im Fokus, bevor die energetische Nutzung als letzter Abschnitt im Lebenszyklus des Produktes eingeleitet wird. Darüber hinaus werden schon heute die Weichen dafür gestellt, Negativemissionen (CDR; Carbon Dioxide Removal) stark zu skalieren, da trotz ambitionierter Maßnahmen zur Emissionsreduktion heute schon klar ist, dass weltweit enorme Mengen CO<sub>2</sub> langfristig der Atmosphäre entzogen werden müssen, um Netto-Null-Ziele zu erreichen und langfristig unter dem globalen 2 °C Temperaturlimit zu bleiben. Die Bioökonomie mit ihren facettenreichen Ansätzen bietet hier konkrete Optimierungs- und Nutzungspotenziale.*



# Negativemissionen & Kohlenstoffsenken

Es besteht wissenschaftlicher Konsens darüber, dass der Atmosphäre im Laufe dieses Jahrhunderts mehrere Hundert Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub> entnommen werden müssen (Negativemissionen, CDR; Carbon Dioxide Removal), um den globalen Temperaturanstieg unter 2 °C zu begrenzen (Smith et. al 2023 & IPCC 2021). Mit THG-Reduktionsmaßnahmen verringert sich zwar der jährliche Zutrag an CO<sub>2</sub>, die für den Treibhauseffekt verantwortliche Gesamtmenge an CO<sub>2</sub> bleibt, bedingt durch den langsamen molekularen Abbau des CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre, zunächst gleich oder steigt weiter an. Mit dem Erreichen von Net-Zero wird der Treibhauseffekt entsprechend nicht gestoppt, sondern lediglich nicht zusätzlich verstärkt.

Erste Szenarien für Deutschland zeigen, dass eine Entnahme von jährlich mindestens 36-130 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre durch verschiedene CDR-Maßnahmen ab 2045 nötig sein wird (Fuss et al. 2021). Der tatsächliche Bedarf wird sich mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf Grund des „emission gap“ (United Nations Environmental Programme 2023) auf ein Vielfaches belaufen. Insbesondere die Entnahme historischer Emissionen (z. B. aus der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts) werden neben der Entnahme von akut unvermeidbaren Restemissionen langfristig auch zum Tragen kommen müssen (IPCC 2022, Erlach et al. 2022). Die Stuttgarter Restemissionen werden sich bis 2035 voraussichtlich auf 0,2 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> / Jahr belaufen (Landeshauptstadt Stuttgart 2022). Das entspricht 6 % der Stuttgarter Gesamtemissionen aus dem Jahr 2019. Noch nicht in den 0,2 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> enthalten sind Emissionen, die möglicherweise anfallen könnten, falls es in Stuttgart nicht gelingt, den anvisierten CO<sub>2</sub>-Reduktionspfad einzuhalten (siehe Abbildung 2).

Zur Erreichung der Pariser Klimaziele gilt: Emissionen vermeiden, Emissionen reduzieren und in letzter Instanz unvermeidbare Emissionen kompensieren. Dies gilt insbesondere für Emissionen, die sektorenübergreifend durch Energieverbräuche entstehen und im Rahmen der städtischen Territorialbilanz bereits erfasst werden. Bei genauerer Betrachtung der schwer zu bilanzierenden grauen Energie wird konsequente Emissionsvermeidung und -reduktion jedoch mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit nicht für die Zielerreichung ausreichen (Smith et. al 2023). Graue Energie bezeich-

net u. a. die Energie, die für die Herstellung, den Transport, die Lagerung, den Verkauf und die Entsorgung eines Produktes aufgewendet wird. Somit bewirkt jedes Produkt, das ins Stadtgebiet importiert wird, einen nicht in der städtischen Territorialbilanz enthaltenen Ausstoß an Treibhausgasemissionen.

Die Kompensation von Treibhausgasen darf niemals als Alternative zur Vermeidung und Reduktion von Emissionen gesehen werden. Vielmehr soll die Kompensation von THG als eine notwendige parallellaufende Technologie angesehen werden, die vor allem dazu dient, unvermeidliche Emissionen zu kompensieren und darüber hinaus historische Emissionen aus der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts zu binden. Eine extrem schnelle, mutige und vor allem unbürokratische Skalierung von vielseitigen CDR-Technologien (Portfolio-Ansatz) ist die einzige Chance, nicht nur Net-Zero zu erreichen, sondern langfristig auch die Klimakrise umzukehren (Merfort et al. 2023).

„Ein Portfolio-Ansatz von CDR-Technologien ist die einzige Chance, die Klimakrise umzukehren.“

Um mögliche Themenfelder für urbane Kohlenstoffsenken zu eruieren und Potenziale zu erheben, wurde für die vorliegende Bioökonomiestrategie die Erstellung eines Kohlenstoffsenken-Portfolios für die Landeshauptstadt Stuttgart in Auftrag gegeben (siehe Anhang Kohlenstoffsenken Portfolio). Diese Untersuchung soll einen ersten Überblick über Möglichkeiten lokaler Kohlenstoffsenken bieten. Darauf aufbauend wird das Ziel verfolgt, konkrete Maßnahmen für die Etablierung von urbanen C-Senken abzuleiten und einen Prozess zur Integration von Negativemissionen in das Monitoring der Net-Zero-Zielerreichung zu integrieren.

SZENARIO A)

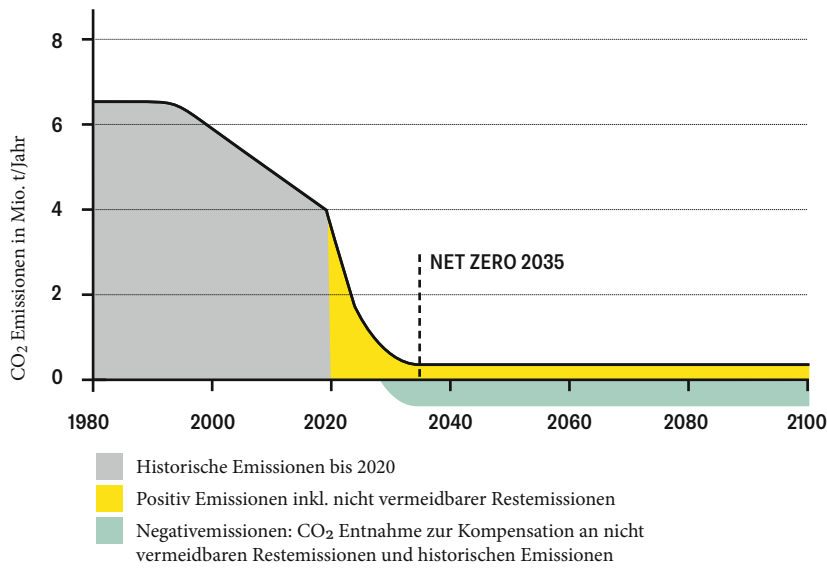


Abb. 2: Szenario a) Durch eine sofortige und radikale CO<sub>2</sub> Emissionskappung wird in Stuttgart Net-Zero im Jahr 2035 erreicht. Unvermeidbare Restemissionen werden durch Negativemissionen kompensiert um langfristig Net-Zero zu halten.

SZENARIO B)

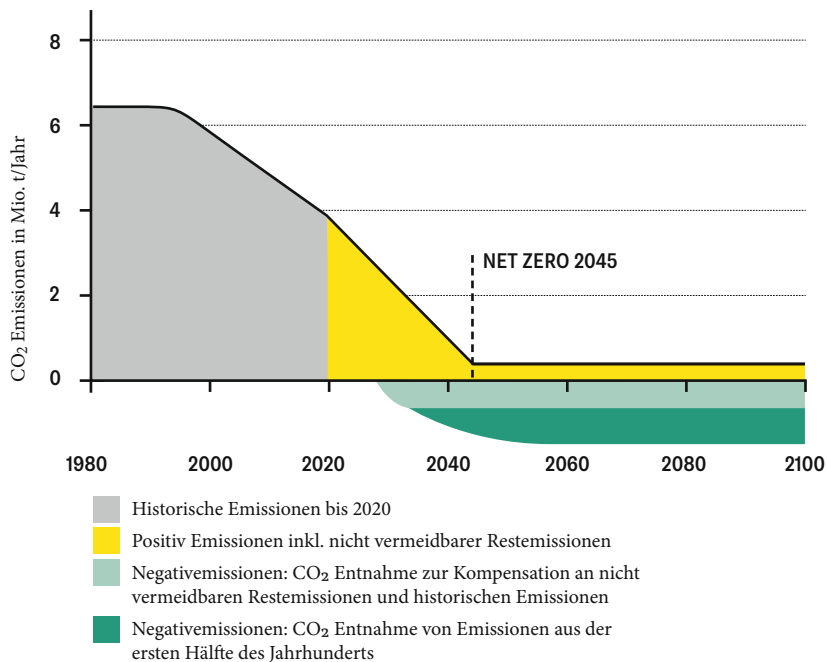


Abb. 2.1: Szenario b) CO<sub>2</sub> Emissionen werden langsamer reduziert. Um trotzdem langfristig Net-Zero zu erreichen, ist in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts eine weitaus größere CO<sub>2</sub> Entnahme erforderlich. Grafik in Anlehnung an Erlach et al. (2022).

# Projektarbeit/Ergebnisse

## IDENTIFIKATION VON BIOÖKONOMIE-STAKEHOLDERN IN DER LHS

### 4.1.1 METHODISCHES VORGEHEN

In einem ersten Schritt wurden relevante Akteure (städtische Ämter und Eigenbetriebe, Forschungseinrichtungen, KMU, Start-ups und weitere Multiplikatoren) anhand folgender Datenquellen identifiziert: die Website bioregio-stern.de, der Förderkatalog des Bundes, Unternehmensdatenbank Orbis, das Projekt Bioeconomy Lab und der Bericht „Bioökonomie-Region Stuttgart – Potenziale der Bioökonomie im urbanen, industriellen Raum“. Besonderes Augenmerk wurde darauf gelegt, dass die Organisationen aktuell im Stuttgarter Stadtgebiet mindestens eine Filiale haben und dass sie Potenziale haben, als Anbieter, Nachfrager oder Technologieträger zur Verwertung biogener Roh- und Reststoffe beizutragen. Ein Hauptfokus wurde auf die Ämter und Eigenbetriebe der Landeshauptstadt gelegt, da die Stadt hier ihren direkten Einflussbereich nutzen kann.

Die Lebensmittelindustrie und Gastronomie als bioökonomische Akteure im Stadtgebiet wurden in dieser Studie ausgeklammert, da hierzu wenige LHS-spezifische, konkrete Daten vorliegen und die Ableitung von Maßnahmen für die LHS im Rahmen von ZirBioS nicht möglich war.

### 4.1.2 ERGEBNIS

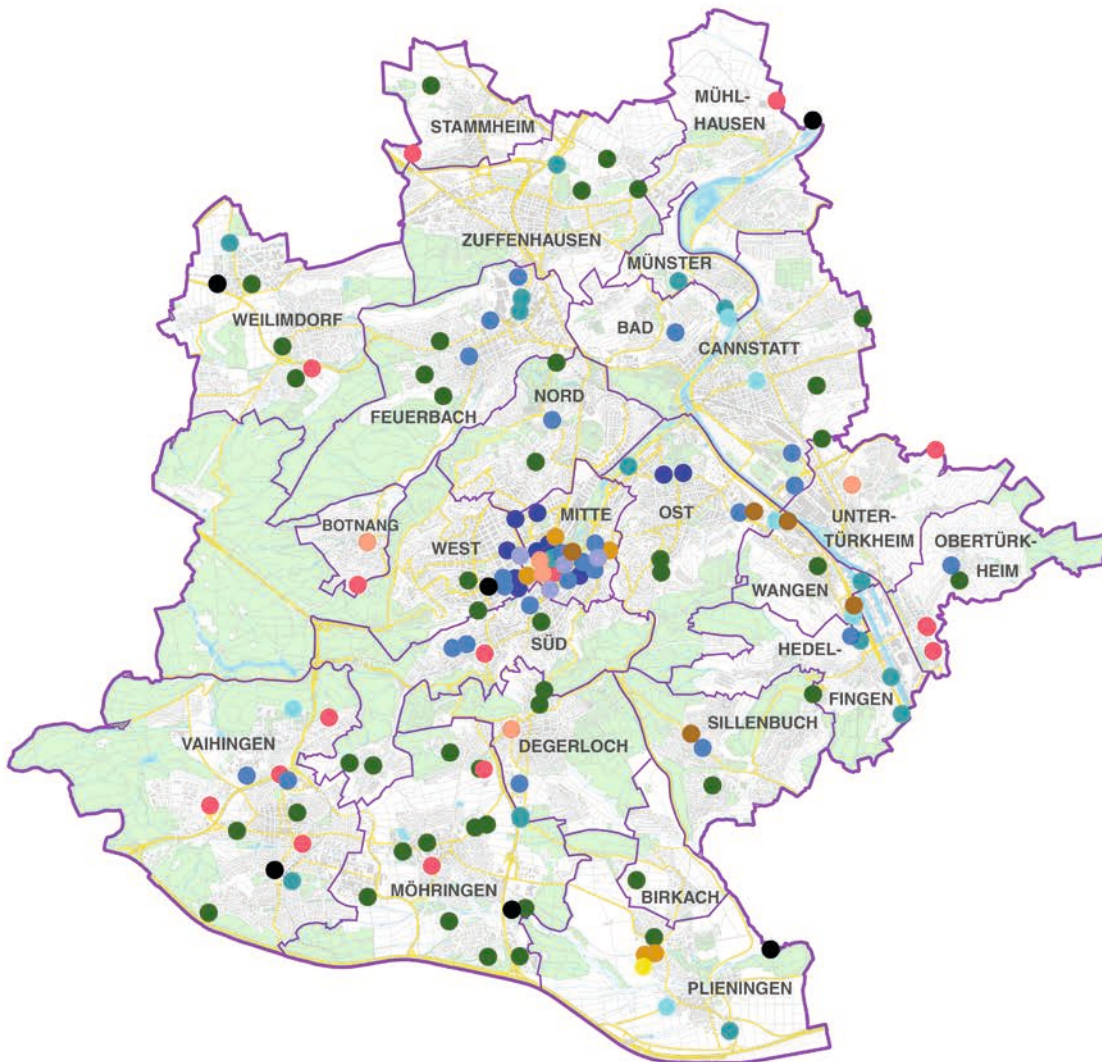
Innerhalb der Stadtgrenzen wurden insgesamt 150 Stakeholder als bioökonomische Kerngruppe identifiziert, welche das Potenzial haben, als Anbieter, Nachfrager oder Technologieträger an der Verwertung biogener Roh-/Reststoffe mitzuwirken. Ein Beispiel hierfür ist ein Landschaftspflegeunternehmen, welches Grünschnitt aus privaten Haushalten der LHS zu den kommunalen Sammelstellen des Garten-, Friedhofs- und Forstamts liefert, aber auch gleichzeitig ein Abnehmer für lokal produzierte Substrate (z. B. Kompost oder zertifizierte Pflanzenkohle) aus dem angelieferten und weiterverarbeiteten Rohstoff ist.

Besonders viele Akteure gibt es in den Bereichen Landschaftspflege, verarbeitendes Gewerbe, Entsorgung und Recycling sowie Land- und Forstwirtschaft.

„Ein Hauptfokus wurde auf die Ämter und Eigenbetriebe der Landeshauptstadt gelegt.“



### Stakeholder der Bioökonomie, Landeshauptstadt Stuttgart



- |                               |                                  |
|-------------------------------|----------------------------------|
| ● Abwasser (8)                | ● Handel (5)                     |
| ● Baugewerbe (5)              | ● Land- und Forstwirtschaft (16) |
| ● Energie (6)                 | ● Landschaftspflege (44)         |
| ● Entsorgung & Recycling (18) | ● Multiplikator (6)              |
| ● Forschungseinrichtung (1)   | ● Verarbeitendes Gewerbe (26)    |
| ● Gastgewerbe (10)            | ● Ämter (5)                      |

© Landeshauptstadt Stuttgart, Stadtmessungsamt 2023

Abb. 3: 150 Akteure der Bioökonomie im Stadtgebiete der LHS mit Fokus auf die Ämter und Eigenbetriebe. Ohne private Gastronomie und Lebensmittelhandel.

# Stoffstromanalyse

## 4.2.1 METHODISCHES VORGEHEN

Einige der wichtigsten biogenen Stoffströme befinden sich im direkten Einflussbereich der Stadtverwaltung, vorrangig der anfallende Grünschnitt (Garten-, Friedhofs- und Forstamt), der Biomüll (Abfallwirtschaft Stuttgart) sowie Klärschlamm (Stadtentwässerung Stuttgart). Innerhalb des begrenzten Projektrahmens von ZirBioS wurde ein Fokus auf diese Stoffströme gelegt. Die Stoffstromdiagramme enthalten vorrangig diese Ströme, verweisen jedoch auf zusätzliche wichtige Stoffströme innerhalb des Stadtgebiets und über die Stadtgrenzen hinaus.

Der Großteil der hier präsentierten Daten bezieht sich auf LHS-intern erhobene Tonnagen aus dem Erhebungsjahr 2022, wenn nicht anders angegeben. Im Stoffstrombereich des kommunalen Grünschnitts ist zu beachten, dass es sich um Tonnagen-Schätzwerte handelt, da keine Infrastruktur zur genauen Bemessung vorhanden ist. Der Anteil biogener Stoffe in der Restmülltonne bezieht sich auf eine AWS-Erhebung im Jahre 2017. Der Stoffstrombereich der Lebensmittelabfälle stammt aus dem Bericht Lebensmittelabfälle in Deutschland – Baseline 2015 (siehe Schmidt et al. 2019).

## 4.2.2 ERGEBNIS

Um die Komplexität möglichst gering zu halten, wird die Vielzahl an Stoffströmen in zwei Diagrammen dargestellt. Das erste Stoffstromdiagramm stellt die Ströme der Stadtentwässerung der LHS dar. Ein zweites, separates Diagramm zeigt die durch die Abfallwirtschaft Stuttgart und das Garten-, Friedhofs- und Forstamt verwalteten Stoffströme. Alle Stoffströme mit weiteren Nutzungspotenzialen wurden auf den Stoffstromdiagrammen in roter Schrift hervorgehoben. Bei den folgenden Stoffströmen ergeben sich erhebliche bioökonomische Nutzungspotenziale:

- Reduktion der Emissionen (z. B. Lachgas, Methan, CO<sub>2</sub>) im Bereich Belebungsbecken, Schlammlagerung, Klärschlammverbrennung und der thermischen Verwertung des Rechenguts sowie den Kompostbetrieben und Holzverbrennungsanlagen
- Anfallende Fette und Öle in den Klärwerken, privaten Haushalten und Gastronomie
- Die Nutzung flüssiger und fester Gärreste aus der Biovergärungsanlage (ab deren Inbetriebnahme im Jahr 2025)
- Der bisherige Export von Hackrohholz, Grünschnitt, Feinsiebresten
- Lebensmittelabfallexporte aus Privathaushalten, Gastronomie und Einzelhandel

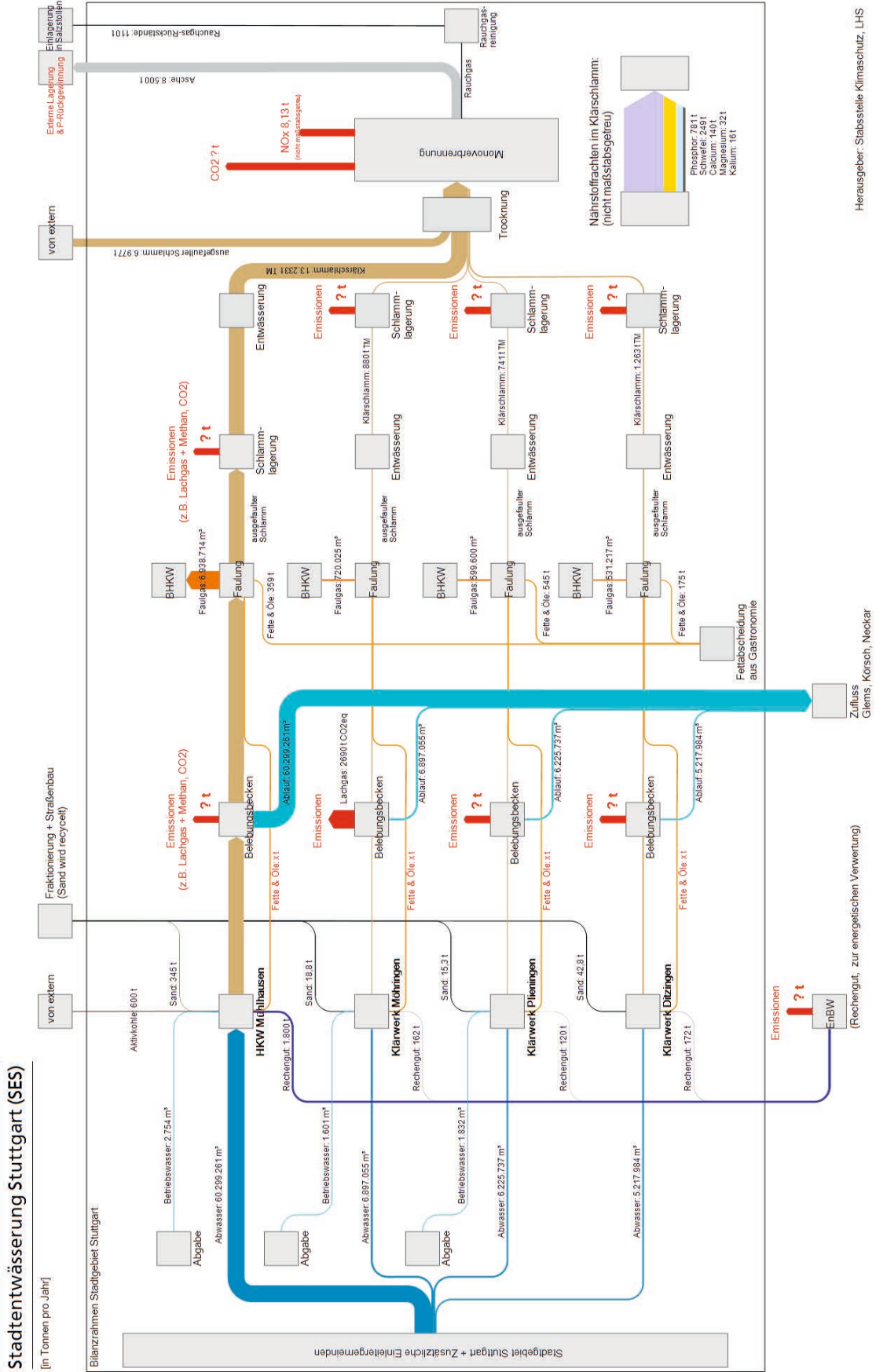


Abb. 4: Stoffstromdiagramm der Stadentwässerung Stuttgart mit einem Fokus auf Stoffströme, welche für bioökonomische Verfahren und Treibhausgasemissionen relevant sind. Hierbei handelt es sich um eine stark vereinfachte Darstellung, die nicht alle Emissionen und Stoffströme der vier Klärwerke Stuttgarts darstellt. Stoffströme mit hohem Nutzungspotenzial sind in Rot hervorgehoben.





# Potenzialanalyse

Die zirkuläre Bioökonomie bietet großes Potenzial, ressourcenschonender im Rahmen der natürlichen Kapazitäten zu wirtschaften. Sie bildet – neben dem technischen – einen der zwei Kreisläufe der zirkulären Wirtschaft („Circular Economy“). Im technologischen Kreislauf werden Produkte über mehrere Zyklen Instand gehalten, wiederverwendet und wiederaufbereitet – lange, bevor sie hochwertig recycelt werden.

Im biologischen Kreislauf, der hier im Fokus steht, werden Stoffströme natürlichen Ursprungs betrachtet, also beispielsweise Holz und Grünschnitt aber auch biologische Reststoffe wie Klärschlamm, Bioabfall oder Gärreste. Ziel der Bioökonomie ist, fossile Rohstoffe durch nachwachsende zu ersetzen und diese möglichst lange im Kreislauf zu halten. Dadurch wird in der Folge auch der CO<sub>2</sub>-Ausstoß minimiert. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, dringend notwendige Negativemissionen (siehe Kapitel 3 Negativemissionen & Kohlenstoffsenken) durch bioökonomische Verfahren zu generieren.

Basierend auf der durchgeführten Stoffstromanalyse wurden spezifische Nutzungspotenziale im Stadtgebiet Stuttgart identifiziert. An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass es sich bei dieser Analyse nur um Stoffströme im Arbeitsbereich der jeweiligen Ämter und Eigenbetriebe der LHS handelt. Industrie, Bausektor, Lebensmittelhandel und Gastronomie wurden im Projektrahmen nicht betrachtet.

## DIREKTE CO<sub>2</sub>-EMISSIONEN AUS STÄDTISCHEN ANLAGEN

Bei CO<sub>2</sub>-Punktquellen handelt es sich um Stellen – oft industrielle Produktionsstätten oder Verbrennungsanlagen – an denen CO<sub>2</sub> in höherer Menge und Konzentration in die Erdatmosphäre entweicht. In städtischer Hand betrifft dies die Blockheizkraftwerke der Kläranlagen sowie die Biomasse-, Klärschlamm-, Abfallverbrennungsanlagen und Biovergärungsanlagen.

Grundsätzlich sollte das an diesen Stellen emittierte CO<sub>2</sub> minimiert werden. Bei nicht vermeidbaren Restemissionen kann aufgrund der erhöhten Konzentration an diesen Punktquellen die CO<sub>2</sub>-Abscheidung eine Option sein. Diese ist allerdings mit einem hohen technischen, energetischen und finanziellen Aufwand verbunden, so dass sie erst als letztes Mittel in Betracht gezogen werden sollte.

Sollte die Abscheidung zum Einsatz kommen, kann das

CO<sub>2</sub> entweder verwendet (Carbon Capture and Utilization, CCU) oder langfristig gespeichert (Carbon Capture and Storage, CCS) werden.

„Was heute nicht emittiert wird, muss morgen nicht energie- und kostenintensiv durch CDR gebunden werden.“

Wenn genügend erneuerbarer Strom zur Verfügung steht, kann CO<sub>2</sub> beispielsweise mithilfe von Power-to-X-Technologien in klimaneutrale Kraftstoffe umgewandelt werden. Die gewonnenen Kraftstoffe sollten aus Effizienzgründen vor allem in Bereichen eingesetzt werden, in denen die Defossilisierung technisch schwieriger ist, wie z. B. Landwirtschaft, Lastkraft- und Flugverkehr (Maßnahme 8.5). Alternativ kann der abgeschiedene Kohlenstoff für C1-Kohlenwasserstoffe zur

Produktion von Biokunststoffen genutzt werden, die fossile Kunststoffe ersetzen.

Aufgrund des hohen Aufwands der CO<sub>2</sub>-Abscheidung sowie der nicht abschließend geklärten Risiken, die insbesondere mit der CO<sub>2</sub>-Speicherung verbunden sind, sollten die anderen Potenziale, die im Folgenden aufgeführt werden, priorisiert betrachtet werden. Insbesondere mit Blick auf die weitere technische Entwicklung sollte das Handlungsfeld jedoch weiter beobachtet werden.

## KLÄRWERKEMISSIONEN

An den Klärwerken in der Region Stuttgart fallen bisher unbekannte Mengen an Methan und Lachgas an. Hauptaugenmerk liegt hier auf nicht quantifizierten Emissionen aus dem Belebungsbecken und der Schlamm Lagerung. Die THG-Wirkung von Methan ist 25-mal bzw. die von Lachgas 265-mal so hoch wie die von CO<sub>2</sub>.

Das kleinere Klärwerk Möhringen wurde 2023 mit Messtechnik der Firma Variolytics GmbH ausgestattet. Aktuelle Ergebnisse bestätigen hier Messwerte aus Klärwerken in der Schweiz und beziffern die tatsächlichen Lachgasemissionen auf etwa das Doppelte der Emissionen, die bisher über die Stickstofffracht gemessen wurden (eine nicht zeitgemäße, aber größtenteils verwendete Methode zur Bestimmung von N<sub>2</sub>O). Aus diesem Grund hat auch die Europäische Union reagiert und in der neuen Fassung der Urban Waste Water Treatment Directive die direkten Emissionen von Lachgas und Methan und deren Monitoring mit aufgenommen (Europäische Union 2024). Nach neuestem Kenntnisstand belaufen sich die jährlichen Lachgasemissionen in Möhringen (0,16 Millionen Einwohnerwerte) auf ca. 2.960 Tonnen CO<sub>2</sub>e.

Das Klärwerk Mühlhausen ist das größte Klärwerk Baden-Württembergs (1,2 Millionen Einwohnerwerte). Die Emissionen dort werden sich auf ein Vielfaches der Emissionen des Klärwerks Möhringen belaufen, daher ist hier eine Kosten-Nutzen Bilanz vielversprechend.

In einem ersten Schritt gilt es, die Menge der Emissionen im Klärwerk Mühlhausen zu erfassen. Im zweiten Schritt sollen diese Emissionen durch effektive Maßnahmen minimiert werden (Maßnahme 2.1).

## LEBENSMITTELABFÄLLE

Im Bundesdurchschnitt fallen in Deutschland ca. 11 Millionen Tonnen an Lebensmittelabfällen an, von denen etwa die Hälfte vermeidbar wäre (Schmidt et al. 2019). Die Statistik umfasst dabei die Primärproduktion, die Lebensmittelverarbeitung, den Handel, die Außer-Haus-Verpflegung und die privaten Haushalte. Heruntergerechnet auf das Stadtgebiet Stuttgart (ca. 633.000 Einwohnerinnen und Einwohner) ergibt sich rechnerisch ein nutzbares Potenzial von ca. 82.900 t an Lebensmittelabfällen. Hier gilt es zu beachten, dass Anteile davon schon in den Stoffströmen der AWS (Bioabfälle und Restmüll; organischer Anteil gesamt ca. 40.500 t) im präsentierten Stoffstromdiagramm mit inbegriffen sind. Alle Lebensmittelabfälle, welche nicht durch die AWS prozessiert werden, verlassen über Dienstleister das Stadtgebiet und könnten in Zukunft stofflich und energetisch lokal genutzt werden.

In erster Linie gilt es, in Zukunft die vermeidbaren Abfälle massiv zu reduzieren (Maßnahme 8.7). Die übrigen, nicht zu vermeidenden Lebensmittelabfälle könnten bei einer Vielzahl von bioökonomischen Anwendungen zum Einsatz kommen, vorausgesetzt, sie werden entsprechend fachgerecht entsorgt und den Verwertungsbetrieben der AWS zur Verfügung gestellt. Eine Einsatzmöglichkeit wäre hier die lokale stoffliche und energetische Nutzung in Form der Vergärung (Maßnahme 4.3 ; eine von der AWS geleitete Biovergärungsanlage ist momentan in der Planung). Das dabei produzierte Biomethan und die Abwärme könnten der Erzeugung von Strom dienen. Aus den flüssigen Gärresten könnten organische Düngemittel hergestellt werden. Aus den festen Gärresten könnten Fasermaterialien für beispielsweise Dämmmaterialien in der lokalen Automobilindustrie hergestellt werden. Eine weitere Möglichkeit, die festen Gärreste zu nutzen, besteht in der Umwandlung zu zertifizierter Pflanzenkohle, wodurch nicht nur ein hochwertiges Substrat entsteht, sondern auch die biochemische Möglichkeit, Biokraftstoffe CO<sub>2</sub>-negativ herzustellen (Siekman 2024).

Eine weitere künftige Nutzungsmöglichkeit könnte in der stofflichen Aufwertung via Insektenbioraffinerien oder aquatischen Zuchtbetrieben bestehen. Diese erzeugen hochwertige Öle, Fette, Proteine und Biopolymeren sowie hochwertigen biologischen Dünger, der wiederum in Urban-Farming-Systemen eingesetzt werden kann.

## HOLZHACKSCHNITZEL, GRÜNSCHNITT UND FEINSIEBMATERIAL

Von den ca. 25.300 t Grüngut, die im Stadtgebiet an den Sammelplätzen abgeliefert werden, werden ca. 5.250 t Grünschnitt EU-weit zur Kompostierung ausgeschrieben und ca. 2.440 t im Stadtgebiet kompostiert. 850 t Feinsiebmaterial werden extern thermisch verwertet. 112 t Hackrohholz werden aus dem Stadtgebiet exportiert. Außerdem werden ca. 2.427 t als Holzhackschnitzel in Holzverbrennungsanlagen der LHS verbrannt.

Das wichtigste Nutzungspotenzial ist das Grüngut. Würde dieser kostbare Rohstoff im Stadtgebiet verbleiben, könnten Transportemissionen reduziert werden, aber vor allem die lokalen Potenziale einer stofflichen und energetischen Nutzung ausgeschöpft werden. Hier besteht für die LHS die Möglichkeit, mit bisher exportierten Biomasse Mengen Negativemissionen innerhalb des Stadtgebiets zu schaffen, einem Themenfeld was in Zukunft immer wichtiger werden wird, um Restemissionen, die emission gap, zu kompensieren (United Nations Environmental Programme 2023). Die beste Nutzungsmöglichkeit unter den Prämissen der Wirtschaftlichkeit, gesetzlicher Vorschriften und Klimafreundlichkeit muss noch im Detail analysiert werden.

Es besteht die theoretische Möglichkeit, Teile der auf den Grünschnittsammelplätzen angelieferten Biomasse in einer Pyrolyseanlage zu verarbeiten, statt sie zu kompostieren. Pyrolyse bezeichnet verschiedene thermochemische Umwandlungsprozesse, in denen organische Verbindungen (Startmaterialien wie kommunaler Grünschnitt) bei hohen Temperaturen gespalten werden. Die dabei entstehenden Gase und Abwärme können als lokale Wärme genutzt werden. Weiterhin entsteht als Wärmequelle zertifizierte Pflanzenkohle, in der etwa 50 % des Kohlenstoffs aus dem Ausgangs-



Lokal hergestellte, EBC zertifizierte Pflanzenkohle aus Stuttgarter Grünschnitt



material über mehrere Jahrhunderte gebunden bleibt (hohe Permanenz) und nur extrem langsam von Mikroben zersetzt werden kann (EBC 2023). Zertifizierte Pflanzenkohle wird vom IPCC in einem Sonderbericht (IPCC 2022) als vielversprechende Negativ-Emissionstechnologie (NET) genannt.

Bei der konkreten Abwägung, ob und welche Mengen an Grünschnitt für eine lokale Pyrolyse geeignet sind, ist unter anderem zu betrachten, wie viel CO<sub>2</sub> dadurch langfristig gespeichert werden kann und welche Mengen an klimaneutraler Energie damit im Gegensatz zu Vergleichstechnologien, insbesondere Holzverbrennungsanlagen, erzeugt werden kann. Beispielsweise können bei einer Baumpflanzung in Anlehnung an das Stockholmer Modell (s. Abb. 5) durch den Einsatz von 1,8 m<sup>3</sup> Pflanzenkohle 1,46 t CO<sub>2</sub> langfristig gespeichert werden. Dies entspricht etwa der C-Speicherung von zwei Buchen, die mindestens 80 Jahre lang wachsen. Das Potenzial einer einzigen Baumpflanzung mit Pflanzenkohle entspricht damit dem jährlichen C-Senkenpotenzial von etwa 120 neu gepflanzten Buchen (siehe Anhang Kohlenstoffsenken Portfolio). Die im zertifizierten Pyrolyseprozess entstehende Pflanzenkohle kann zur Aufwertung der Grünflächen im Stadtgebiet verwendet werden, da die Pflanzenkohle neben der C-Speicherung die Wasserspeicherfähigkeit von Böden erhöht und auch die Nährstoffverfügbarkeit des Bodens verbessert (Maßnahme 1.1). Für das Anwachsen und dauerhafte Überleben von Jungbäumen, aber auch die Baumstandortsanierung älterer Stadtbäume, bietet das Stockholmer Modell ideale Voraussetzungen. Es ist davon auszugehen, dass eine optimierte Baumrigole (Pflanzgrube im Stockholmer Modell) die Überlebenschancen eines Baumes stark erhöht und somit kostenintensive Nachpflanzungen vermieden werden können. Pflanzenkohle kann darüber hinaus als Substrat in der Dach- und Fassadenbegrünung (Maßnahme 8.1) oder als Zusatzstoff in Beton (Maßnahme 5.1) eingesetzt werden. In letzterem Fall lässt sich der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Beton bei einer Beimischung von 1 % Pflanzenkohle um 25 % senken (siehe Anhang Kohlenstoffsenken Portfolio). *Das Stockholmer Modell wird vom Garten-, Friedhofs- und Forstamt der LHS bereits mit lokal produzierter Pflanzenkohle praktiziert, eine starke Skalierung ist angestrebt (Maßnahme 1.1).*

Würden die oben genannten Stoffströme nicht das Stadtgebiet verlassen, sondern lokal pyrolysiert, ergäbe sich ein jährliches Senkenpotenzial von ca. 3.100 t CO<sub>2</sub> (850 t Feinsiebmaterial entspricht ca. 500 t CO<sub>2</sub>; 5.200 t Grünschnitt entspricht ca. 2.600 t CO<sub>2</sub>; 112 t Hackrohholz entspricht ca. 65 t CO<sub>2</sub>; (siehe Details Anhang 2). Um die gleiche C-Senken Leistung ausschließlich durch die Baumpflanzung zu erreichen, müsste man jedes Jahr 250.000 Buchen pflanzen.

Bei der bisher in Stuttgart praktizierten Kompostherstellung entweichen ca. 30 % des Kohlenstoffs als CO<sub>2</sub> und andere klimarelevante Gase. Auch bietet Kompost nur einen vergleichsweise kurzlebigen Kohlenstoffspeicher, so dass nach der Mineralisation des Komposts der Kohlenstoff vollständig freigesetzt wird (Permanenz abhängig von Ausgangsmaterial, Mikrobiom und Klima).

Generell ist eine stoffliche Nutzung gegenüber einer rein energetischen Nutzung (ausschließlich Verbrennung) von Biomasse vorzuziehen, da ein Großteil der heute bei Verbrennung entstehenden Kohlenstoffatome in Zukunft aus der Atmosphäre abgeschieden werden müssen – egal, ob es aus der Holzverbrennung oder einem fossilen Energieträger stammt. Was heute nicht emittiert wird, muss morgen nicht energie- und kostenintensiv durch CDR gebunden werden.

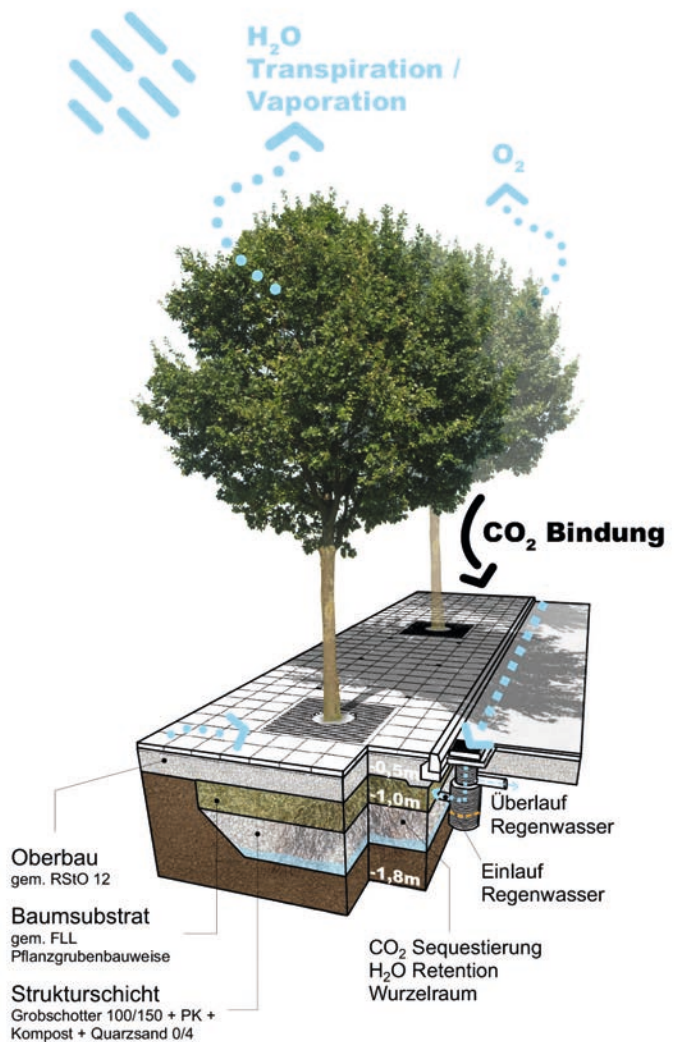


Abb. 5: Das Stockholmer Modell bietet neben einer effektiven Kohlenstoffsenke einen optimierten Baumstandort wodurch die Vitalität und Klimaresilienz von Stadtbäumen erhöht wird.

## FETTE UND ÖLE

In den Klärwerken werden über das Abwasser ankommende Fette und Öle abgefangen und in die Faulung zur energetischen Nutzung weitergegeben. Öle und Fette aus den Gastronomie werden momentan nicht zentral gesammelt, sondern von privaten Dienstleistern verwaltet. Abgeschiedene Fette und Öle aus der Stuttgarter Gastronomie werden an drei der vier Klärwerke zur energetischen Nutzung in der Faulung geliefert oder verlassen das Stadtgebiet. Die von den Dienstleistern angelieferte Menge in den Klärwerken beläuft sich auf ca. 1.070 t pro Jahr. Die Menge an Fetten und Ölen, die das Stadtgebiet über Dienstleister verlässt, ist nicht quantifiziert, sollte jedoch aufgrund des hohen stofflichen und energetischen Nutzwerts als verlorene Ressource in der LHS gesehen werden.

Durch eine zentrale Sammelstelle könnten Fette und Öle aus Privathaushalten und Teile der exportierten Tonnagen alternativ stofflich gesetzt werden. Ein Beispiel hierzu wäre die Herstellung von Biodiesel, welcher als klimaneutraler Kraftstoff in der stadteigenen Polizei-, Feuerwehr-, Kranken- und Müllwagenflotte der Landeshauptstadt Stuttgart eingesetzt werden könnte (Maßnahmen 4.2). Weiterhin besteht die Möglichkeit, diese ungenutzten Stoffmengen zur lokalen energetischen Nutzung in die Faulung der Klärwerke zu geben. Der Vergleich der Potenziale als Bio-Diesel oder Energieträger für die Vergärung bedarf einer spezifischen Umweltbilanzierung. Klar ist, dass eine lokale Verwertung des energiereichen Stoffstroms einem Export vorzuziehen ist.

## ABTRENNUNG ORGANISCHER RESTSTOFFE IM RESTMÜLL UND DEREN NUTZUNG IN EINER BIOMÜLLVERGÄRUNGSANLAGE

Im Restmüll landen ca. 30 % organische Reststoffe (ca. 16.500 t; AWS Erhebung im Jahr 2017). Diese fließen bisher noch in die externe thermische Verwertung und gehen damit stofflich verloren. Empfehlenswert wäre eine Umleitung dieses organischen Anteils des Restmülls in die lokale Vergärungsanlage, um dort Strom und Nahwärme zu generieren (Maßnahme 4.1). Eine weitere stoffliche Nutzung der Gärreste ist dadurch gegeben (siehe Ausführung unter „Lebensmittelabfälle“).

## LOKALE NUTZUNG DER VERGÄRUNGSRESTE AUS DER GEPLANTEN VERGÄRUNGSANLAGE IN ZUFFENHAUSEN

Die Inbetriebnahme der Biomassevergärungsanlage in Zuffenhausen ist für 2025 geplant. Die Anlage ist für eine Kapazität von maximal 40.000 t Biomasse ausgelegt. Bei maximaler Kapazität bleiben, nachdem der Gärprozess abgeschlossen ist, ca. 16.000 t flüssiger Gärrest, 11.100 fester Gärrest oder ca. 5.500 t Kompost übrig. Diese sollen laut Planung EU-weit ausgeschrieben und außerhalb des Stadtgebietes Stuttgart exportiert werden. Dieser Stoffstrom enthält jedoch auch wichtige Nährstoffe und kohlenstoffhaltige Komponenten, die in der LHS verwertet werden könnten (Maßnahme 4.3). Bei einer lokalen Verwertung würden Transportemissionen reduziert. Aus dem festen Anteil des Gärrests ist eine Kompostherstellung geplant. Bei dieser wird durchschnittlich 30 % des enthaltenen Kohlenstoffs durch Verrottung emittiert. Eine alternative Nutzung wie z. B. Pyrolyse würde Emissionen reduzieren, langfristige Kohlenstoffsenken schaffen und trotzdem ein wertvolles Pflanzsubstrat herstellen (siehe Anhang Kohlenstoffsenken Portfolio). Hier empfiehlt sich eine Fortsetzung der laufenden Markterkundung, um die Stoffströme möglichst klimaneutral oder sogar klimaneutral zu nutzen (Siekman 2024).

## ALTHOLZ

In der Landeshauptstadt Stuttgart fallen 2.500 t Altholz der Klasse 1-3 an. Dabei umfasst Klasse 1 unbehandeltes Altholz, Klasse 2 behandeltes Altholz und Klasse 3 belastetes Altholz. Das Altholz wird bisher vollständig außerhalb des Stadtgebietes für die Energiegewinnung thermisch verwertet. Durch eine thermische Verwertung innerhalb des Stadtgebietes könnten Transportemissionen verringert werden. Perspektivisch wäre auch eine stoffliche Nutzung des Altholzes zur längerfristigen Bindung des im Altholz gebundenen Kohlenstoffs sinnvoll. Dies gilt allerdings nur für das unbelastete Altholz.

## GIEBWASSER

Momentan werden von den Klärwerken Mühlhausen, Möhringen und Plieningen jährlich 6.100 m<sup>3</sup> Betriebswasser zum Gießen des Stadtgrüns an die Gießfahrzeuge des Garten-, Friedhofs- und Forstamt abgegeben. Eine dezentrale Gießwasserversorgung würde Wegstrecken für die Gießfahrzeuge im Stadtgebiet einsparen. Zum Beispiel könnten große Zisternen Starkregenereignisse abpuffern und den Niederschlag lokal dort speichern, wo er später gebraucht wird. Tröpfchenbewässerung stellt eine weitere technische Möglichkeit dar, Grünflächen möglichst effizient und klimaangepasst zu bewässern. (Maßnahme 8.6).

## PHOSPHORRÜCKGEWINNUNG

Phosphor ist ein endlicher Rohstoff und zugleich ein essenzieller Nährstoff für alle Lebewesen (Montag et al. 2014). Phosphor wird momentan hauptsächlich in Marokko abgebaut, chemisch weiterverarbeitet und als Düngemittel für die Landwirtschaft importiert. Mit ca. 780 t Phosphor in der jährlichen Klärschlammfracht aller vier Stuttgarter Klärwerke ist Phosphor ein sehr relevanter Stoffstrom. Zurzeit wird der Klärschlamm der vier Stuttgarter und weiterer externer Klärwerke im Hauptklärwerk Mühlhausen gesammelt und verbrannt (2022 belief sich die verbrannte Menge auf 22.668t TM). Der in der Klärschlammmasche enthaltene Phosphor wird mit der Asche aus dem Stadtgebiet exportiert. Ab 2029 ist eine P-Rückgewinnung gesetzlich vorgeschrieben. Eine ökonomisch und ökologisch tragbare Technik zur Rückgewinnung steht hierzu jedoch noch nicht zur Verfügung. Eine Markterkundung zum Technikstand treibt die LHS momentan mit dem Tiefbauamt Karlsruhe und dem Zweckverband Steinheule (Ulm/Neu Ulm) voran (siehe Gemeinderatsdrucksache 175/2022). Geplant ist, die anfallende Klärschlammmasche zu sammeln und zu einem späteren Zeitpunkt den Phosphor in großtechnischen Phosphor-Rückgewinnungsanlagen rückzugewinnen.

Da die energieintensiven P-Rückgewinnungskosten voraussichtlich die Aschelagerkosten in naher Zukunft bei weitem überschreiten werden, bedarf es, auch andere Methoden in Betracht zu ziehen. Die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors („Verglasung in der Monoverbrennung“) sollte neben der Cadmium-Belastung im Phosphor berücksichtigt werden. Die in Pilotprojekten erprobte und funktionierende Klärschlamm-pyrolyse mit ihrem enormen Potenzial als C-Senke sei an dieser Stelle genannt (EBI, 2023).

## ZENTRALE BESCHAFFUNG

Im Bereich der zentralen Beschaffung der LHS liegen unausgeschöpfte Potenziale sowohl die Emissionen in Produktion und Transport von Gütern zu minimieren, als auch die Produktlebensdauer zu maximieren. Im Konkreten könnte zunehmend eine kreislauffähige Beschaffung vorangetrieben werden, welche die Nutzung von biologischen Ausgangsmaterialien bevorzugt und darüber hinaus den Produktlebenszyklus erhöht (Maßnahme 3.1). Neben der Ausarbeitung einer Negativliste welche Produkte grundsätzlich nicht mehr beschafft werden sollten (z.B. Einweggeschirr), wäre es sinnvoll Alternativprodukte nach bioökonomischen Kriterien auszuwählen. Dadurch wird nicht nur die Abfallmenge reduziert, sondern auch biobasierte Ausgangsmaterialien gegenüber erdölbasierten Materialien bevorzugt (Maßnahme 3.2). Eine Anpassung der Beschaffungsordnung um klima- und ressourcenschonende Aspekte wäre hierzu zielführend (Maßnahme 3.3).

## BAUSEKTOR

Der Bausektor wurde in der vorliegenden Studie ausgeklammert, da ein Fokus auf den biogenen Stoffströmen im Stadtgebiet lag und keine belastbaren Zahlen bezüglich biogener Materialien im Bausektor zur Verfügung standen. Außerdem wird der Bausektor in der sich in Bearbeitung befindenden Kreislaufwirtschaftsstrategie der LHS genauer beleuchtet. Das Ergebnis einer Vorstudie zeigte, dass 4,0 Millionen Tonnen Material (insbesondere Steine, Erden, Holz) pro Jahr in Stuttgart im Bauwesen verwendet werden. Das entspricht über einem Viertel des gesamten Materials, das pro Jahr nach Stuttgart geht. Damit sind bisher nicht quantifizierte Mengen von Treibhausgasemissionen verbunden. Erste positive Erfahrungen wurden in Stuttgart bereits mit Recycling-Beton gemacht, welcher die THG-Emissionen um durchschnittlich 7 % verringern kann (WWF 2019) und zur Ressourcenschonung beitragen kann. Für die schlechte Treibhausgasbilanz von Beton ist vor allem der Zementanteil entscheidend. Bei der Zementherstellung entstehen durch die energieintensiven Prozesse und die dabei ablaufenden, chemischen Reaktionen erhebliche Mengen an THG.

Ein neues Themenfeld, welches die Bioökonomie mit der Kreislaufwirtschaft im Bauen vereint, ist der sogenannte Klimabeton, bei welchem der Betonrezeptur Pflanzenkohle hinzugefügt wird. Die Beimischung von 1 % Pflanzenkohle im Beton kann den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck um bis zu 25 % kompensieren. Der Kohlenstoff ist auf lange Zeit im Beton gebunden und kann als effektive Kohlenstoffsänke gesehen werden. Eine Markterkundung und die Initiierung eines geeigneten Projekts für die pilothafte Erprobung der Nutzung von Pflanzenkohle in Beton wird in Maßnahme 5.1 behandelt.









## MAßNAHMENÜBERSICHT

In einem breiten Beteiligungsprozess wurden 22 Maßnahmen erarbeitet. Grundlage war ein Auftakt-Workshop mit den betroffenen Ämtern und Eigenbetrieben der LHS zur Betrachtung der Potenziale und Erarbeitung von Maßnahmenoptionen. Im Anschluss wurden die erarbeiteten Optionen von den zuständigen Fachämtern geprüft und mit der ZirBioS-Projektleitung in bilateraler Abstimmung ausgearbeitet.

In der folgenden Tabelle sind alle Maßnahmen nach Zuständigkeit aufgelistet. Die ausführlichen Maßnahmensteckbriefe sind im Anhang zu dieser Strategie zu finden.

Für den Bildband „Zukunftsbilder 2045“ haben Reinventing Society und das Wire Collective eine Vision für den Stuttgarter Marktplatz entworfen.



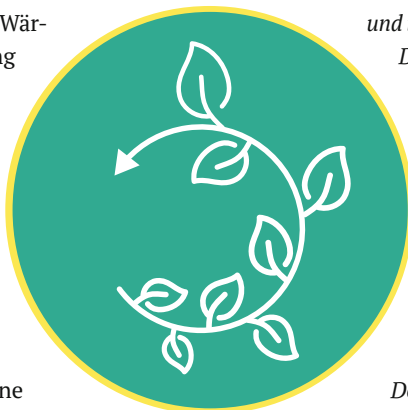
<b>MAßNAHMEN-NR.:</b>	<b>MAßNAHMEN</b>
<b>1.1</b>	<b>GARTEN-, FRIEDHOFS- UND FORSTAMT</b> Stockholmer Modell bei Neupflanzungen von Straßenbegleitgrün & überregionaler Austausch
<b>STADTENTWÄSSERUNG STUTTGART</b>	
<b>2.1</b>	Reduktion Treibhausgase in den Klärwerken; Schaffung von Datengrundlage
<b>2.2</b>	Kampagne „Keine Feuchttücher ins Klo“. Aufdruck „spülbar“ und „In Toilette entsorgen“ entfernen
<b>2.3</b>	THG-Emissionsreduktion im Einkauf von Pulveraktivkohle
<b>HAUPT- UND PERSONALAMT</b>	
<b>3.1</b>	Kreislauffähige Beschaffung vorantreiben und Nutzung von (biologischen) Ressourcen entlang des Produktlebenszyklus
<b>3.2</b>	Integration bioökonomischer Kriterien bei der Entwicklung einer Negativliste in der Beschaffung
<b>3.3</b>	Anpassung der Beschaffungsordnung um klima- und ressourcenschonende Aspekte
<b>ABFALLWIRTSCHAFT STUTTGART</b>	
<b>4.1</b>	Reduzierung Bioabfall in Restmülltonne
<b>4.2</b>	Dezentrale Sammelstellen für Fette und Öle
<b>4.3</b>	Aufwertung von festen und flüssigen Gärresten
<b>4.4</b>	Klimafreundliche Katzenstreu
<b>HOCHBAUAMT</b>	
<b>5.1</b>	Reduktion des CO <sub>2</sub> -Fußabdrucks von Beton / Zement
<b>TIEFBAUAMT</b>	
<b>6.1</b>	Einsatz von Ökoasphalt und Recyclingasphalt
<b>OB/82 WIRTSCHAFTSFÖRDERUNG</b>	
<b>7.1</b>	Vernetzung von Produktions- und Forschungsinfrastruktur für Start-ups
<b>S/OB STABSSTELLE KLIMASCHUTZ</b>	
<b>8.1</b>	Kontinuierliche Fortschreibung der Bioökonomiestrategie und Monitoring der Maßnahmen
<b>8.2</b>	Direktmaßnahmen ZirBioS: Karte bioökonomischer Akteure, Workshops zur Vernetzung, Kohlenstoffsinkenpotenziale
<b>8.3</b>	Onlineplattform Pilotprojekte in Stuttgart ausarbeiten
<b>8.4</b>	Kommunale Grünschnittpyrolyse: Betrachtung von Best-Practice-Beispielen sowie Übertragung von Umsetzungsoptionen auf die LHS
<b>8.5</b>	Potenzialanalyse und Aufsetzen Umsetzungsprojekt für Kohlenstoffabscheidung in Verbrennungsanlagen
<b>8.6</b>	Dezentrale Gießwasserversorgung
<b>8.7</b>	Vermeidung von Lebensmittelabfällen und stoffliche Nutzung
<b>8.8</b>	Dach- und Fassadenbegrünung in Kombination alternativer Substrate (C-Senken)

Tabelle 1: Maßnahmen nach Zuständigkeit

# Fazit

Wie oben im Detail ausgeführt, besteht das größte Potenzial in der lokalen Weiterverarbeitung der genannten Stoffströme. In der Anlehnung an das Kreislaufwirtschaftsgesetz ist die stoffliche der energetischen Nutzung vorzuziehen. Insbesondere Grünschnitt, Hackrohholz und feste Gärreste sollten mittelfristig lokal zur Wärme-, Energie- und Substratherstellung (Pflanzenkohle) durch Pyrolysetechnik genutzt werden. Dabei bleibt nicht nur der limitierte Rohstoff Biomasse im Stadtgebiet, sondern es besteht die große zukunftsweisende Chance, Negativemissionen (siehe Kapitel 3 Negativemissionen & Kohlenstoffsenken) vor Ort zu generieren. Langfristig sollte in allen bestehenden Verbrennungsanlagen in der LHS eine CO<sub>2</sub>-Abscheidung stattfinden.

Eine Umsetzung der aufgezeigten Potenziale ist an einigen Stellen bereits im Gange; in anderen Bereichen wird eine intensive Detailuntersuchung notwendig sein. Gelingt es, die Potenziale auszuschöpfen, so könnte folgendes Zielbild erreicht werden:



*In der LHS wird zunehmend Biomasse im Straßenbegleitgrün, auf Dächern und Fassaden aber auch in tiny forests aufgebaut. Beton und Asphalt weicht urbanem Grün. Es verlässt kein kostbarer biogener Stoffstrom das Stadtgebiet. Die urbane Biomasse wird bei Pflegemaßnahmen zentral gesammelt und in eine ortsansässige Pyrolyseanlage gegeben.*

*Die hierbei entstehende Abwärme wird in das Nahwärmenetz eingespeist, das Pyrolysegas wird aufbereitet (z. B. C-Abscheidung). Die lokale produzierte Pflanzenkohle wird bei Baumneupflanzungen, Baumstandort-sanierungen aber auch in Parkanlagen und der Dach- und Fassadenbegrünung eingesetzt. Die CO<sub>2</sub>-Zertifikate des Pflanzenkohleinsatzes und der urbanen Biomasse werden in der LHS kontiert und eine Doppeltkontierung durch externe Dienstleister ausgeschlossen. Durch Skalierung werden mittelfristig nicht nur Restemissionen, die zum Erreichen von Net-Zero 2035 notwendig sind, kompensiert, sondern auch die dringend nötigen Negativemissionen generiert. Die Kombination des Pyrolyseverfahrens mit einer Biovergärungsanlage findet je nach Prioritätensetzung statt. Aus festen Gärresten dieser möglichen Biovergärungsanlage werden Fasermaterialien zu Dämmmaterial für die ortsansässige Automobilindustrie zur Verfügung gestellt.*



# Themenspeicher

Die folgenden Themenbereiche wurden diskutiert, konnten jedoch nicht im Rahmen des Förderprojekts abschließend behandelt oder in konkrete Maßnahmensteckbriefe überführt werden. Diese Themenbereiche gilt es in Zukunft im Detail zu diskutieren und entsprechende Maßnahmen abzuleiten.

- Reduktion Treibhausgase in den Kompostbetrieben
- Verbesserte Mülltrennung im kommunalen Betrieb (Ämter und Eigenbetriebe)
- Einsatz biogener Materialien im Bau – Entbürokratisierung, einheitliche Normen (Entlastungsallianz bei Land-/Städtetag)
- Green IT; THG-Emissionsreduktion durch Optimierung von Software
- Stoffwindelreinigungssystem mit ggfs. energetischer Verwertung, für Altenheime und für Privathaushalte
- Förderung von Mehrwegwindeln statt Wegwerfwindel
- Klimafreundlicher Wein in Stuttgart: Kohlenstoffsenkenpotenziale, regionale Wertstoffkreisläufe
- Klimaasphalt und Klimabeton stark skalieren
- Methanplasmalysestandort prüfen



## LITERATURNACHWEISE

**EBC (2023).** European Biochar Certificate – Richtlinien für die Zertifizierung von Pflanzenkohle, Ithaka Institute, Arbaz, Switzerland. <http://www.european-biochar.org> Version 10.3G vom 5. April 2023

**EBI, (2023)** Position Paper, SewAge Sludge as feedstock for pyrolysis to be included in the scope of the EU Fertilizing Products Regulation. <https://www.biochar-industry.com/2023/ebi-position-paper/>

**Erlach, B., Fuss, S., Geden, O., Glotzbach, U. [...] (2022),** Was sind negative Emissionen, und warum brauchen wir sie? (Kurz erklärt!), Akademienprojekt „Energiesysteme der Zukunft“. Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina (Herausgeber) [https://doi.org/10.48669/ESYS\\_2022-2](https://doi.org/10.48669/ESYS_2022-2)

**Europäische Union.** (2024). Deal on more efficient treatment and reuse of urban wastewater. Press release 29.01.2024 <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20240129IPR17203/deal-on-more-efficient-treatment-and-reuse-of-urban-wastewater>

**Fehrenbach, H., Giegrich, J., Köppen, S., Wern, B., Pertagnol, J., Bulach, W., Baur, F., Hünecke, K., Dehoust, G., & Wiegmann, K. (2018).** BioRest: Verfügbarkeit und Nutzungsoptionen biogener Abfall- und Reststoffe im Energiesystem (Strom-, Wärme- und Verkehrssektor). Umweltbundesamt.

**Fuss, S., Gruner, F., Hilaire, J., Kalkuhl, M., Knapp, J., Lamb, W., Merfort, A., Meyer, H., Minx, J. C., & Strefler, J. (2021).** CO<sub>2</sub>-Entnahmen: Notwendigkeit und Regulierungsoptionen. Studie im Auftrag der Wissenschaftsplattform Klimaschutz. [https://www.wissenschaftsplattform-klimaschutz.de/files/WPKS\\_Gutachten\\_MCC\\_PIK.pdf](https://www.wissenschaftsplattform-klimaschutz.de/files/WPKS_Gutachten_MCC_PIK.pdf)

**IPCC.** (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis (V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, & M. I. Gomis, Eds.). Cambridge University Press. [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf)

**IPCC.** (2022). Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

**Kotz, M., Levermann, A. & Wenz, L.** The economic commitment of climate change. *Nature* 628, 551–557 (2024). <https://doi.org/10.1038/s41586-024-07219-0>

**Landeshauptstadt Stuttgart** (Herausgeber). (2022). Net Zero Stuttgart Abschlussbericht.

**Merfort, A., Stevanovic, M., & Streffler, J.** (2023). Energiewende auf Netto-Null: Passen Angebot und Nachfrage nach CO<sub>2</sub>-Entnahme aus der Atmosphäre zusammen? Kopernikus-Projekt Ariadne (Potsdam. Institut Für Klimafolgenforschung).

**Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg** (Herausgeber). (2019). Landesstrategie nachhaltige Bioökonomie Baden-Württemberg.

**Montag, D., Everding, W., Mals, S., Pinnekamp, J., Reinhardt, J., Fehrenbach, H., Anrold, U., Trimborn, M., Goldbach, H., Klett, W., & Lammers, T.** (2014). Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz. Umweltbundesamt.

**Schmidt, T. G., Schneider, F., & Leverenz, D.** (2019). Lebensmittelabfälle in Deutschland—Baseline 2015. Johann Heinrich von Thünen-Institut. <https://doi.org/10.3220/REP1563519883000>

**Siekman, A.** (2024). Weltneuheit: Der erste CO<sub>2</sub>-negative Biokraftstoff kommt auf den Markt. Agrarheute.

**Smith, S., Geden, O., Nemet, G., Gidden, M., Lamb, W., Powis, C., Bellamy, R., Callaghan, M., Cowie, A., Cox, E., Fuss, S., Gasser, T., Grassi, G., Greene, J., Lueck, S., Mohan, A., Müller-Hansen, F., Peters, G., Pratama, Y., ... Minx, J.** (2023). State of Carbon Dioxide Removal—1st Edition. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/W3B4Z>

**United Nations Environment Programme** (2023). Emissions Gap Report 2023: Broken Record – Temperatures hit new highs, yet world fails to cut emissions (again). Nairobi. <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43922>. WWF (2019).

**Im Anhang dieser Strategie befindet sich:**

- Anhang 1: Maßnahmenkatalog
- Anhang 2: Studie Kohlenstoffsinken-Portfolio

**Impressum:**

Landeshauptstadt Stuttgart, Stabsstelle Klimaschutz  
Rathaus, Marktplatz 1, 70173 Stuttgart

**Inhaltlich verantwortlich:**

Dr. Max Schuchardt, Florian Sorg, Lisa Krüger

**Redaktion:**

Stabsstelle Klimaschutz

Telefon: 0711-21680647

E-Mail: klimaschutz@stuttgart.de

© Landeshauptstadt Stuttgart

**Layout:**

Agentur Discodoener, Stuttgart

Juli 2024 V1.3

**Zitieren als:**

Schuchardt M., Sorg F., Krüger L. (2024). Zirkuläre Bioökonomiestrategie  
Landeshauptstadt Stuttgart (ZirBioS), Stabsstelle Klimaschutz LHS (Herausgeber)

**Bildnachweise:**

Titel: © AmericanWildlife/RunderSee/iStock

Seite 2: pexels/Renato Dehnhardt

Seite 4: © Meerfoto/Fernsehturm, Stuttgart

Seite 5: © Franziska Kraufmann/Martin Körner

Seite 17: © Alxneit Sustainable Century Stuttgart/Pflanzenkohle Hände

Seite 18: © Zöllner/Garten-, Friedhofs- und Forstamt LHS

Seite 21: © Meerfoto/Rotebühlplatz, Stuttgart

Seite 22: © ReinventingSociety/WireCollective/Stuttgart Marktplatz 2045

Seite 24: pexels/Jimmy Chan

Seite 25: pexels/Renato Dehnhardt

Gedruckt auf 100 Prozent Recycling-Papier, FSC-zertifiziert.

