

TEXTE

53/2017

# **BIOMASSEKASKADEN Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis**

**Kurzfassung**



TEXTE 53/2017

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3713 44 100  
UBA-FB 002490/KURZ

## **BIOMASSEKASKADEN**

### **Mehr Ressourceneffizienz durch Kaskadennutzung von Biomasse – von der Theorie zur Praxis**

Kurzfassung

von

Horst Fehrenbach, Susanne Köppen, Benedikt Kauertz, Andreas Detzel, Frank  
Wellenreuther  
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH, Heidelberg

Elke Breitmayer, Roland Essel, Michael Carus  
nova-Institut GmbH, Hürth



Sonja Kay, Bernhard Wern, Frank Baur  
IZES – Institut für Zukunftsenergiesysteme gGmbH, Saarbrücken

Katrin Bienge, Justus von Geibler  
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH, Wuppertal

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

### Herausgeber:

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
info@umweltbundesamt.de  
Internet: www.umweltbundesamt.de  
 /umweltbundesamt.de  
 /umweltbundesamt

### Durchführung der Studie:

ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH  
Wilckensstraße 3  
69120 Heidelberg

nova-Institut GmbH  
Chemiepark Knapsack – Industriestraße 300  
50354 Hürth

IZES – Institut für Zukunftsenergiesysteme gGmbH  
Altenkesseler Straße 17, Geb. A1  
66115 Saarbrücken

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal

### Abschlussdatum:

Februar 2017

### Redaktion:

Fachgebiet I 1.1 Grundsatzfragen, Nachhaltigkeitsstrategien und -szenarien,  
Ressourcenschonung  
Almut Jering

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>  
ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, Juni 2017

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3713 44 100 finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	5
Tabellenverzeichnis .....	5
Abkürzungsverzeichnis .....	6
1 Ausgangspunkt und Ziele des Forschungsprojekts.....	7
2 Konzepte und Praxisbeispiele der Kaskadennutzung .....	8
3 Analyse der Rohstoffbereitstellung .....	10
4 Hemmnisse und Erfolgsfaktoren für Kaskadennutzung .....	12
5 Ökologische Bewertung der Kaskadennutzung .....	13
6 Kaskadennutzung im Rahmen eines Gesamtkonzepts der Biomassenutzung .....	16
7 Eckpunkte einer Strategie zur Implementierung der Kaskadennutzung von Biomasse.....	18
7.1 In welcher Weise beziehen sich bestehende Politikstrategien auf die Kaskadennutzung.....	18
7.2 Verortung der Kaskadennutzung in den drei „Kernstrategien“ .....	20
7.3 Rolle der Kaskadennutzung in der Ressourcenpolitik .....	21
7.4 Anknüpfungspunkte an bestehende Strategien .....	22
7.5 Strategische Eckpunkte zur Verstärkung der Kaskadennutzung .....	23
8 Zusammenfassung .....	25
9 Literatur .....	26

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht über die Ökobilanzergebnisse dargestellt als Bandbreite der verschiedenen Kaskadenoptionen im Vergleich zur Ist-Situation (Holz) bzw. dem Verzicht auf Kaskadennutzung (Papier, Textil, Kunststoff); die Prozentwerte geben die Veränderung der Gesamtumweltlast für den Durchschnitt in Deutschland an, bei vollständiger Umsetzung der Kaskaden. ....	14
Abbildung 2:	Bewertungskonzept angewandt auf die Ergebnisse der untersuchten Holzkaskaden .....	17
Abbildung 3:	Verschneidung der betroffenen Ebenen von Handlungsfeldern und Akteurskreisen und für die strategischen Eckpunkte zur Verstärkung der Kaskadennutzung .....	24

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Übersicht einer Auswahl von relevanten Strategie- und Positionspapieren mit Bezug zur Kaskadennutzung.....	19
------------	--	----

## Abkürzungsverzeichnis

<b>bioPE</b>	biobasiertes Polyethen
<b>bioPET</b>	biobasiertes Polyethylenterephthalat
<b>BLE</b>	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
<b>BMUB</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
<b>BMEL</b>	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft
<b>BMBF</b>	Bundesministerium für Bildung und Forschung
<b>BUF</b>	Biomass Utilization Factor (Biomassennutzungsfaktor)
<b>DG</b>	Directorate General (Generaldirektion der EU-Kommission)
<b>EEA</b>	European Environment Agency (Europäische Umweltagentur)
<b>EEG</b>	Erneuerbare Energie-Gesetz
<b>IEA</b>	International Energy Agency
<b>ILUC</b>	indirect land-use change (indirekte Landnutzungsänderung)
<b>ISO</b>	International Standard Organisation
<b>KEA</b>	Kumulierter Energieaufwand
<b>KRA</b>	Kumulierter Rohstoffaufwand
<b>KrWG</b>	Kreislaufwirtschaftsgesetz
<b>LCA</b>	Life Cycle Assessment (Lebenszyklusanalyse)
<b>LUC</b>	Land use change (Landnutzungsänderung)
<b>MJ</b>	Mega-Joule
<b>NawaRo</b>	nachwachsende Rohstoffe
<b>PE</b>	Polyethen, Polyethylen
<b>PET</b>	Polyethylenterephthalat
<b>PLA</b>	Polylaktid
<b>PM10</b>	Particulate matter mit aerodynamischem Durchmesser <10 µm (Feinstaub)
<b>ProgRess</b>	Deutsches Ressourceneffizienzprogramm
<b>THG</b>	Treibhausgas

## 1 Ausgangspunkt und Ziele des Forschungsprojekts

Ein verantwortungsbewusster Umgang mit den nur begrenzt verfügbaren natürlichen Ressourcen scheint längst ein Gemeinplatz zu sein. Aber wie sieht das in der Praxis aus? Trotz Verbesserungen bei der Rohstoffproduktivität in den letzten Jahren steht der tatsächliche direkte wie indirekte Zugriff auf Rohstoffe bereits heute im Widerspruch zu den Grenzen der Tragfähigkeit des Planeten (Steffen et al. 2015).

Biomasse ist ein regenerativer Rohstoff, der mit Landnutzung verbunden ist und somit ebenfalls der Knappheit unterliegt. Das Prinzip der Kaskadennutzung wird bereits seit einigen Jahren als Lösungsansatz genannt, um die Rohstoffeffizienz zu erhöhen und damit auch negative Umweltfolgen und Nachhaltigkeitskonflikte bei der Biomassennutzung zu verringern. Demnach sollte Biomasse so lange, so häufig und so effizient wie möglich zunächst stofflich genutzt werden und erst am Ende des Produktlebenszyklus energetisch verwertet werden.

Die Realität sieht derzeit anders aus: 44 % des dem Wald entnommenen Holzes wird ohne stoffliche Nutzung verbrannt - mehr als die Hälfte davon direkt als Energieholz, der Rest als Sägenebenprodukte (Mantau 2012). Bei den agrarischen nachwachsenden Rohstoffen ist der Anteil der Energiepflanzen noch weitaus größer: nur etwa 11 % gehen in die stofflich industrielle Nutzung, nahezu 90 % werden zu Biogas und Biokraftstoffe verarbeitet (FNR 2015).

Das Potenzial von Biomassekaskaden ist bisher nicht ansatzweise ausgeschöpft, da die Kaskadennutzung bislang kaum praktiziert wird. Das Forschungsprojekt **Biomassekaskaden** hat folgende Ziele:

- ▶ Ermittlung der Potenziale von Biomassekaskaden sowie der Gründe für Erfolg und Scheitern von Ansätzen und Konzepten.
- ▶ Ausarbeitung der ökologischen Vorteile von Biomassekaskaden und Bewertung von Schwachstellen.
- ▶ Erstellung der Basis und der Elemente eines Gesamtkonzepts für eine erfolgreiche Umsetzung.
- ▶ Aufzeigen der Eckpunkte einer Strategie, die zur Umsetzung dieses Gesamtkonzepts erforderlich ist.

Diese Fragestellungen im Rahmen des Forschungsprojekts Biomassekaskaden bearbeitet das Konsortium von ifeu (Projektleitung), nova-Institut, IZES und Wuppertal Institute im Auftrag des Umweltbundesamts (Laufzeit Juli 2013 bis Oktober 2016).



## 2 Konzepte und Praxisbeispiele der Kaskadennutzung

Bereits seit den 1990er Jahren wurden Theorie und Konzept der Kaskadennutzung umfangreich in nationaler und internationaler Literatur als eine sequentielle Nutzung von Biomasse beschrieben (u.a. Sirkin und ten Houten 1994, Fraanje 1997). Die Kaskadennutzung von Biomasse folgt dabei meist dem Prinzip, Biomasse zunächst stofflich zu verwenden, bevor sie energetisch genutzt wird (u.a. Umweltbundesamt (UBA) 2012, Arnold et al. 2009). Jüngere Konzepte stellen die Kaskadennutzung im Zusammenhang mit umfassenden Rohstoffverwendungs- bzw. –verwertungsstrategien dar (u.a. Odegard et al. 2012, BMBF 2010) oder setzen Kaskade mit Recycling oder einer optimierten Co-Produktion bzw. Reststoffverwertung gleich. Ein einheitliches Verständnis für den Begriff der Kaskadennutzung gibt es bislang weder in der Forschung noch in der Wirtschaft oder Politik. Zudem unterscheidet sich die Integration der Kaskadennutzung in der gesetzlichen Rahmgebung zwischen unterschiedlichen Staaten sowie der daraus resultierenden Effekte (u.a. Olsson et al. 2016, Dammer et al. 2016).

In Strategie- und Positionspapieren der deutschen sowie der europäischen Politik wird der Begriff der „Kaskadennutzung“ seit etwa 2010 und meist mit explizitem Bezug zur Biomassenutzung verwendet. Die eingangs geschilderte Unterschiedlichkeit in Verständnis und Definitionen zur Kaskadennutzung spiegelt sich auch in diesen Papieren wider (siehe hierzu auch Abschnitt 7.1):

- ▶ Die *Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie* (BMBF 2010) und die *EU-Strategie Innovating for Sustainable Growth a Bioeconomy in Europe* (EU DG Forschung 2012) verstehen unter Kaskadennutzung die hochwertige Nutzung von Nebenprodukten (auch: Co-Produktion) insbesondere aus Bioraffinerien, um eine möglichst hohe Wertschöpfung aus der eingesetzten Biomasse zu erzielen.
- ▶ Die *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie Neuauflage 2016* und das *Deutsche Ressourceneffizienzprogramm II (ProgRess II)* sowie die Papiere der DG Umwelt und der EEA (2015) zur Circular Economy in Europa setzen den Begriff in den Kontext von Kreislaufwirtschaft<sup>1</sup>, d.h. dem langfristigen Erhalt von Material im Sinne der Abfallhierarchie.

Seitdem die Circular Economy in Europa verstärkt in den politischen Fokus rückt, hat sich die zweite Sichtweise in der Diskussion mehr und mehr durchgesetzt. Insbesondere in Deutschland kann die aktuelle Nachhaltigkeitsstrategie als übergreifende Position der Bundesregierung aufgefasst werden. Damit wird die Rolle der Kaskadennutzung strategisch eng mit den Zielen der Kreislaufwirtschaft gekoppelt. Diese setzen darauf, den Wert von Produkten, Stoffen und Ressourcen innerhalb der Wirtschaft so lange wie möglich zu erhalten und die Gesamtwertschöpfung zu steigern. Dieses Verständnis deckt sich im Übrigen auch mit der Definition von Kaskadennutzung im Ressourcenschutz-Glossar des UBA 2012.

---

<sup>1</sup> Der Begriff der Circular Economy gemäß der Verwendung im europäischen Rahmen greift vom Grundansatz her tiefer und breiter in die gesamte Stoffwirtschaft als der in Deutschland bereits seit 1996 geltende Begriff der Kreislaufwirtschaft, geprägt vom Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG); in diesem Projektbericht bezieht sich der verwendete Begriff Kreislaufwirtschaft auf die Auffassung in den aktuellen strategischen Papieren der EU-Kommission oder der EEA. Der im KrWG über die Abfallhierarchie definierte Kaskadenansatz bezieht sich in seiner Lenkungswirkung lediglich auf den Sekundärrohstoff und beinhaltet keine Nutzungspriorisierung für den Primärrohstoff.

Für begriffliche Klarheit und für ein besseres Verständnis für Kaskadennutzung und verwandte Konzepte, wurde im Rahmen dieses Projektes eine neue, deskriptive Definition der Kaskadennutzung von Biomasse entwickelt (siehe Kasten). Die Projektdefinition ermöglicht es, zwischen einstufigen und mehrstufigen Kaskaden zu unterscheiden. Wenn man das Kaskadenprinzip als Strategie zur Steigerung der Ressourceneffizienz versteht, kann sowohl eine einstufige als auch eine mehrstufige Kaskadennutzung ein übergeordnetes Effizienzziel unterstützen. Daher bringen neue Arten der stofflichen Nutzung von Biomasse, auch wenn sie nicht von Anfang an mehrstufig sind, das Potenzial zur Steigerung der Kaskadennutzung mit sich.

#### Definition der Kaskadennutzung (in diesem Projekt entwickelt):

Biomasse, die zu einem bio-basierten Endprodukt verarbeitet wurde, wird mindestens ein weiteres Mal entweder stofflich oder energetisch genutzt. Dabei wird Biomasse-Kaskadennutzung unterschieden in:

- ▶ **einstufige Kaskade:** das bio-basierte Endprodukt wird nach erfolgter stofflicher Nutzung direkt energetisch genutzt
- ▶ **mehrstufige Kaskade:** das bio-basierte Endprodukt findet mindestens ein weiteres Mal eine stoffliche Verwendung.

Die Diskussion der vergangenen Jahre, unterschiedliche Biomasseströme und deren Nutzungsmöglichkeiten in einen weiteren Kontext zu stellen, der Anbau und Verwendung mit sämtlichen Kaskaden und Nebenströmen einbezieht, ist richtig und wichtig. Eine Umsetzung in die Praxis fehlt jedoch aufgrund von teilweise paradoxen Steuerungsmechanismen. Ein illustratives Beispiel ist die Tatsache, dass nach wie vor die energetische Nutzung von Frischholz durch das EEG stark subventioniert wird und damit ein bedeutender Stoffstrom in die direkte energetische Nutzung fließt. Auf der anderen Seite schreibt das Kreislaufwirtschaftsgesetz die Einhaltung der Abfallhierarchie vor, die die energetische Nutzung von Abfällen als ungünstigste Verwertungsoption sieht. Eine integrative Sicht auf Gesamtstoffströme, von deren Ursprung auf dem Feld bzw. im Wald oder Meer über deren stoffliche Verwendung bis hin zur letztendlichen energetischen Verwertung, ist deshalb empfehlenswert.

Ob die erwünschten Effekte der Kaskadennutzung in der Realität tatsächlich erzielt werden, bleibt bisher jedoch im Verborgenen, denn die Datenlage zur Messung des Beitrags von Kaskaden zu den politischen Zielen ist ungenügend. So gibt es nur wenige Instrumente zur Quantifizierung von Kaskaden. Dazu zählen Stoffstromanalysen und die Berechnungen des Kaskadenfaktors von Mantau (2012a) sowie der sogenannte Biomass Utilization Factor (nova 2016), die über die Art und Dauer der Nutzungskaskaden sowie über die Anzahl der wiederholten Nutzungen ein und derselben Biomasse Auskunft geben. Mögliche Effekte der Kaskadennutzung von Biomasse wie bspw. direkte Effekte zur Einsparung von Treibhausgasemissionen oder zur Steigerung der Wertschöpfung, aber auch indirekte Effekte wie die Extensivierung der Landnutzung durch eine Steigerung der Nutzung von Sekundärrohstoffen, wurden im Rahmen dieses Projektes untersucht. Im Forschungsprojekt werden die in der Praxis etablierten Nutzungskaskaden von Biomasse betrachtet, die im Folgenden kurz skizziert sind:

- ▶ **Papier, Pappe, Karton:** durchschnittliche Altpapier-Recyclingquote von 74 % (VDP 2016)
- ▶ **Holzwerkstoffindustrie:** stoffliche Altholz-Verwertung von 19 % , Nutzung ausschließlich in der Spanplattenherstellung (Mantau et al. 2012)
- ▶ **Textilien:** stoffliche Verwertung von 92% z. B. als Secondhand-Kleidung (keine „Kaskade“ im engeren Sinne), Kaskade zu Putzlappen und Nutzung als Sekundärrohstoff (Korolkov 2016)
- ▶ **Biokunststoffe:** mit fossilen Kunststoffen stoffgleiche Biokunststoffe (Drop-in) werden in gleicher Weise recycelt wie die entsprechenden fossilen Kunststoffe (z.B. bio-PE wie PE), nach UBA (2015)

werden 42 % der Kunststoffabfälle stofflich verwertet; PLA wird aufgrund fehlender Marktvolumina derzeit nicht recycelt.

Darüber hinaus gibt es zahlreiche innovative Nischenprodukte auf der Basis effizient eingesetzter Biomasse und potenziell Kaskadennutzung auslösen können. Gerade in der Nutzung von Neben- und Abfallströmen liegt daher großes Potenzial, das bisher jedoch nicht ansatzweise ausgenutzt wird.

Insgesamt ist es von zentraler Wichtigkeit, dass die Kaskadennutzung in die Entwicklung von Prozessketten mit hochwertigen Produktdesigns eingebunden wird. Nur so wird sie wirtschaftlich dauerhaft lebensfähige Wertschöpfungsketten ermöglichen.

### 3 Analyse der Rohstoffbereitstellung

Das Forschungsprojekt geht auch der Frage nach der (ausreichenden) Rohstoffverfügbarkeit und den Rahmenbedingungen zur Bereitstellung definierter Rohstoffqualitäten für ausgewählte Biomassekaskaden nach. Hierzu werden sowohl die bereits bestehende sowie die künftig potenziell zunehmende Konkurrenz um nachwachsende Rohstoffe analysiert. Der Fokus liegt dabei auf dem Rohstoffbedarf für definierte Kaskadenkonzepte auf Basis bestehender Studien sowie geschätzter Marktentwicklungen im Rahmen einer Gesamtschau derzeit diskutierter Biomasse-Nutzungspfade. Ferner werden Anforderungen hinsichtlich der prozessspezifisch darzustellenden Rohstoff-Quantität (umsetzbare Mengen) und -Qualität (Eigenschaften, Bereitstellungsform) eingeschätzt.

Die Verfügbarkeit von nachwachsenden Rohstoffen wird zum einen durch steigende Nachfragen beeinflusst, insbesondere aus dem Energiesektor. Andererseits wird die Angebotsseite u.a. auf der Basis naturschutzfachlicher Restriktionen (zumindest auf nationaler Ebene) reduziert. Daraus resultiert ein erhöhter Druck auf die Fläche, der entschärft werden kann durch einen effizienten Umgang mit den Ressourcen sowie mit angepassten Biomassekaskadenprozessen.

Die Verfügbarkeit wurde für solche Rohstoffe analysiert, deren Kaskadennutzung in der Praxis bereits getestet, bzw. am Markt etabliert ist. Folgende relevante Märkte wurden dabei identifiziert:

- ▶ der Altholz-Markt
- ▶ der (Alt-)Papier-Markt,
- ▶ der Naturfaser- bzw. (Alt-)Textil-Markt,
- ▶ der Zucker-Markt,
- ▶ der Stärke-Markt sowie
- ▶ der Bioabfall-Markt.

Grundsätzlich ist die Kaskadennutzung bereits über die in § 6 Abs. 1 KrWG getroffenen Festlegungen zur Abfallhierarchie für die Sekundärrohstoffe (Abfälle) aus diesen Märkten gesetzlich verankert. Allerdings ist die Notwendigkeit zur Einhaltung dieser Hierarchie gemäß § 6 Abs. 2 KrWG mit der Überprüfung verschiedener Kriterien verbunden<sup>2</sup>. Von diesen Kriterien stellt sich für die Kaskadennutzung die „Anreicherung von Schadstoffen in Erzeugnissen“ als potenziell problematisch dar. Im Sinne der Ressourceneffizienz sollte der Kaskadenansatz zudem auf den Primärrohstoff ausgedehnt werden, wofür es bislang allerdings keine vergleichbaren Festlegungen im Sinne einer erweiterten Kreislaufwirtschaft gibt.

Aus nationaler (Potenzial-)Sicht wurden als relevante Rohstoffe für Kaskaden-Ansätze derzeit der Zellstoff-Markt (mit dem etablierten Prozess zum Papier-Recycling), v.a. der Altholz-Markt sowie die Agrarrohstoffe für den Kunststoffmarkt identifiziert.

---

<sup>2</sup> (1) Emissionen, (2) Schonung der natürlichen Ressourcen, (3) Energiebilanz, (4) Schadstoffanreicherung in Erzeugnissen

Kaskadenprozesse im **Altholz-Sektor** sind insbesondere über die Spanplatte etabliert. Ein Ausbau der Kaskaden-Nutzung lässt sich bei einem unterstellten Altholz-Aufkommen von ca. 9,3 Mio. t (Marktvolumen und entsorgte Restabfälle) zum einen durch eine verstärkte stoffliche Nutzung von Rohholzmengen realisieren. Dies wird angesichts der limitierten Holzpotenziale zu einer Verdrängung der energetischen Nutzung insbesondere von Scheitholz im Wärmemarkt führen. Gleichzeitig bedeutet die Kaskadennutzung eine Erhöhung des Altholzanteils in Holzprodukten (hauptsächlich Spanplatte).

Ein Ausbau der stofflichen Nutzung von Rohholz bedarf angesichts stagnierender Produktionskapazitäten deutlicher Marktimpulse. Zu fördern gilt es dabei auch eine verstärkte stoffliche Nutzung von Laubholz, welches bisher fast ausschließlich energetisch genutzt wird, durch den Umbau des Waldes jedoch zunehmend an Bedeutung gewinnen wird.

Eine verstärkte Nutzung von Altholz in Holzprodukten findet derzeit, trotz voller Holzlager, nicht statt. Als Hürde erscheint dabei sowohl aus funktionaler, als auch aus schadstofforientierter Sicht der Aspekt der Qualitätssicherung. Vereinzelt vorliegende Untersuchungen zu Holzprodukten mit Recyclingholz-Anteilen geben Anlass dazu, Schadstoffanreicherungen im Sinne von § 6 Abs. 2 KrWG zu unterstellen (Schrägle 2015). Hinsichtlich einer optimierten Stoffstromlenkung sind somit zusätzliche Mechanismen erforderlich, die eine Trennung von Altholz nach guten – und damit stofflich nutzbaren – Qualitäten begünstigen (z.B. Problematik der PVC-Beschichtungen).

Bezüglich der Gewinnung **nachwachsender Rohstoffe aus dem Agrarsektor** belegt die Bereitstellung von Rohstoffen für die (sehr heterogene) stoffliche Nutzung mit 268.000 ha in Deutschland derzeit lediglich ca. 11 % der im Non-Food-Bereich genutzten Agrarfläche, ca. 56 % Energiepflanzen für Biogas und ca. 33 % Pflanzen für Biotreibstoffe (FNR 2015). Im Forschungsprojekt wurden daher Flächenentwicklungen modelliert, welche u.a. davon ausgehen, dass nach Ende der jeweiligen EEG-Vergütungszeiträume verstärkt Flächen „freifallen“, welche bislang zur Energiepflanzenproduktion gedient haben. Je nach Ansatz werden dabei bis 2030 bis zu 1 Mio. ha frei, was – im Kontext einer stofflichen Umnutzung – einem fünffachen Flächenpotenzial für stoffliche Nutzungen gleichkommt. Es erscheint somit sinnvoll für den Agrarsektor eine ganzheitliche Landnutzungsstrategie unter Berücksichtigung der Zeitschiene zu entwickeln, welche nicht isoliert energetische oder stoffliche Potenziale skaliert, sondern langfristige Übergänge von der rein energetischen in die stoffliche Nutzung modelliert. Dabei sollten im stofflichen Bereich hinsichtlich der Landnutzungsformen die Fehler der Vergangenheit nicht wiederholt und direkt nachhaltige Anbausysteme und Reststoffnutzungen angereizt werden.

Hinsichtlich der Kaskadeneffekte z.B. bei Bio-Kunststoffen ist aus Stoffstrom-Sicht zu berücksichtigen, dass eine isolierte Verwertungskette rein biogener Produkte wenig wahrscheinlich ist. Vielmehr werden Biomasse-basierte Produkte zum Bestandteil von ganzheitlichen Kunststoff-Verwertungsketten bzw. werden letztendlich über Anlagen zur Behandlung von Mischabfällen entsorgt. Dementsprechend ist auf ein kompatibles Abfallsystem zu achten.

Zusammenfassend stellen sich aus Sicht der Rohstoffbereitstellung folgende relevante Punkte dar:

- ▶ Grundsätzlich erscheint ein Übergang von der energetischen in die stoffliche Nutzung von Primärrohstoffen in den nächsten Dekaden machbar. Biomassen kommen dann erst in einem zeitlichen Versatz in (andere) Systeme zur Energieerzeugung.
- ▶ Die Nutzungsziele eines Rohstoffes sind verstärkt in das Produktdesign zu integrieren (keine Schadstoffanreicherung)
- ▶ Die Systeme zur getrennten Erfassung, Sortierung, Qualitätssicherung und Verwertung Biomasse-basierter Produkte sind zu optimieren. Eine Vernetzung mit dem Siedlungsabfallsektor ist daher wichtig.
- ▶ Es bedarf einer ganzheitlichen Landnutzungsstrategie, welche eine Abstimmung zwischen stofflichen und energetischen Nutzungsperspektiven unter Berücksichtigung der Anforderungen des Futter-/Nahrungsmittel-Sektors über die Zeitschiene ermöglicht.

## 4 Hemmnisse und Erfolgsfaktoren für Kaskadennutzung

Generell ist die Kaskadennutzung in der Wirtschaft in erster Linie ein Ressourcenkonzept. Das heißt, Kaskaden sind in der Regel dann am erfolgreichsten, wenn das Recyclingmaterial als günstiger Rohstoff in einer Wertschöpfungskette eingesetzt werden kann oder durch den Rohstoff neue Wertschöpfungsketten entstehen.

Erfolgreiche Konzepte zeichnen sich insbesondere durch eine hohe Funktionalität der Produkte aus. Für den Produkterfolg generell ist es in erster Linie wichtig, dass Produkte einer Kaskade den funktionalen und qualitativen Ansprüchen potenzieller Kunden genügen, sowie zu einem vernünftigen Preis verfügbar sind. Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeitsaspekte sind eher Bonuspunkte (Holmberg 2014a). Dauerhaften Erfolg hatten bislang auch nur diejenigen Konzepte, die auf lange Sicht ohne staatliche Beihilfen auskommen. Als Anschubfinanzierung sowie zur Überbrückung der Produktentwicklung bis zur industriellen Umsetzung sind staatliche Förderprogramme hilfreich, nicht jedoch als Basis eines Geschäftsmodells.

Hemmnisse zur Umsetzung liegen im Handlungsfeld des Abfallmanagements, der Sammlung und der Verwertung, dessen gesetzlicher Rahmen durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz auf Basis der Europäischen Abfallrahmenrichtlinie gebildet wird. Auffallend ist, dass die praktische Umsetzung in verschiedenen Stoffströmen unterschiedlich erfolgreich ist. Während die Getrenntsammlung von Holz und Altpapier gesetzlich geregelt und etabliert ist, ist die Textilkaskade durch wirtschaftliche Interessen in den vergangenen Jahren in eine Schieflage geraten. Neben den gemeinnützigen und privaten Sammlern traten insbesondere Kommunen als neue Akteure auf. Illegale Sammlungen und ein für Spender undurchdringliches Geflecht an Sammlern führten zu einem generellen Verlust der Glaubwürdigkeit und zu Unsicherheiten in der Rohstoffbeschaffung auf Seiten der Verwerter.

Im Bereich der Biokunststoffe ist die Getrenntsammlung nur für Drop-Ins wie bioPE und bioPET etabliert, da hier über den Gesamtstrom für die Verwertung relevante Marktvolumina erreicht werden. Bei neuartigen biobasierten Kunststoffen, wie beispielsweise PLA, ist Recycling zwar grundsätzlich technisch machbar, sie werden jedoch in der Regel thermisch verwertet. Eine Getrenntsammlung kann aufgrund fehlender Volumina aus rein ökonomischen Gründen nicht realisiert werden. Einfache Sammelsysteme sind ein Faktor für eine breite gesellschaftliche Akzeptanz der Sammlungen.

Daneben spielen marktspezifische Hemmnisse eine wesentliche Rolle. Der Abbau von Subventionen konkurrierender energetischer Biomassenutzungen ist einer der wichtigsten Bausteine, um die Nutzungsdauer von Biomasse zu verlängern und damit auch politisch induzierte Rohstoffverknappung zu entschärfen. Stattdessen: Gleichbehandlung der stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse sowohl durch Abbau bestehender einseitiger Subventionierung sowie indirekte Verzerrungen (z.B. Nachhaltigkeitskriterien, die einseitig für Biomasse, nicht jedoch für petrochemische Produkte eingehalten werden müssen).

Fehlende Kooperation und Verständnis für die Abläufe und Produkte in nachgelagerten Stufen der Wertschöpfungskette wurden von vielen Wirtschaftsteilnehmern als Hemmnis für die Kaskade identifiziert. Durch die Vielzahl an Akteuren wie Kommunen, Privatwirtschaft, gemeinnützige Sammler, sowie internationale Konkurrenz ist die Zusammenarbeit über die Kette oft komplex und undurchsichtig. Eine stärkere Vernetzung zwischen Akteuren einer Wertschöpfungskette kann die Kaskadennutzung fördern. Generell wird die technische Machbarkeit der Kaskadennutzung nicht als Hemmnis gesehen.

Es gibt verschiedene Ansätze zur Stärkung der wertschöpfungskettenübergreifenden Zusammenarbeit, z.B.:

- ▶ „Ecodesign“ in Hinsicht auf ein Produktdesign, das die Rückgewinnungs- und Wiederverwertbarkeit von Rohstoffen vereinfacht, kann die Kaskadennutzung qualitativ und quantitativ unterstützen,

- ▶ Schaffung europaweiter Standards zur Klassifizierung und Verwertung recyclingfähigen Materials, wie beispielsweise einer in allen Ländern umzusetzende Altholzverordnung, sowie Standards der Analytik zur Sicherstellung der Qualitäten stärken und sichern die Kaskadennutzung.

Die Kombination verschiedener kaskadenspezifischer und übergreifender Maßnahmen ist ein Erfolgsfaktor für die Stabilisierung und Ausweitung bestehender und noch zu entwickelnder Kaskadenkonzepte.

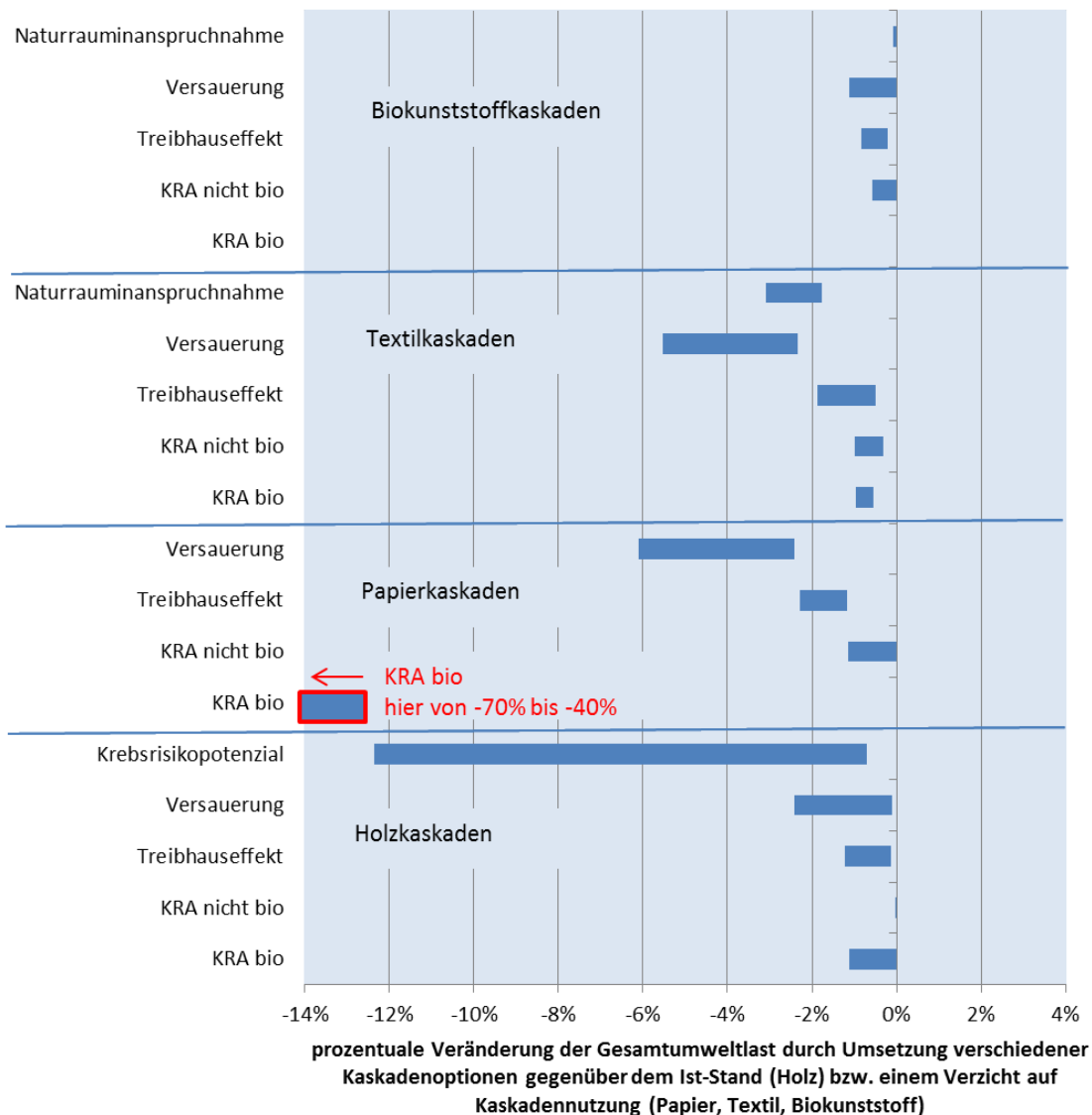
## 5 Ökologische Bewertung der Kaskadennutzung

Es liegen bereits verschiedene Ökobilanzen zur Kaskadennutzung vor, weswegen hier eine Auswahl an Kaskadenwegen ausgesucht wurde, von denen zusätzliche neue Erkenntnisse zu erwarten sind. Untersucht wurden dabei folgende Systeme:

- ▶ **Holz:** im Rahmen einer umfassenden Stoffstrombilanz für den gesamten Holzsektor wurden verschiedene Kaskadenszenarien modelliert, wie:
  - a) Teilweise Umlenkung von Altholz zu mehr stofflicher Nutzung in Holzwerkstoffen (Spanplatte)
  - b) Teilweise Umlenkung von Energieholz aus dem Wald zu stofflicher Nutzung in Holzwerkstoffen (Spanplatte)
  - c) Teilweise Umlenkung von Energieholz aus dem Wald als Input in chemische Syntheseprozesse (als Basis für Chemikalien oder „fortschrittliche“ Biokraftstoffe)
  - d) Vollständige Umlenkung von Energieholz aus dem Wald zu stofflicher Nutzung (v.a. im Bausektor) und damit Erhöhung der Kaskadennutzung im Holzsektor insgesamt
- ▶ **Papier:** ausgehend von einer verbrauchsüblichen Menge an Frischzellstoffpapier wird im Rahmen einer Übersichtsökobilanz der Effekt von ein- und mehrfacher Kaskadennutzung gegenüber direkter Energienutzung von Altpapier bewertet; Ziel Reduktion des Verbrauchs an Frischzellstoff.
- ▶ **Textilien:** ausgehend von einer verbrauchsüblichen Menge an Baumwolltextilien werden im Rahmen einer Übersichtsökobilanz verschiedene Optionen der Nutzung von Alttextilien bewertet; Ziel: Reduktion des Verbrauchs des Rohstoffs Baumwolle.
- ▶ **Biokunststoffe:** ausgehend von einer bestimmten Anbaufläche für Biomasse werden Ökobilanzen zu ein- bis mehrstufigen Kaskaden für Produktsysteme aus Polylaktid (PLA) und biobasiertem Polyethylen (bioPE) mit der Nutzung der Anbaubiomasse als Biokraftstoffe (Ethanol) bewertet.

Die Ergebnisse sind insgesamt recht eindeutig: **Sinnvolle Kaskadenwege stellen sich beinahe immer als insgesamt ökologisch vorteilhaft gegenüber einfachen Nutzungen dar.** Die Vorteile sind in vielen Fällen zwar nicht besonders groß, aber dafür konstant (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Übersicht über die Ökobilanzergebnisse dargestellt als Bandbreite der verschiedenen Kaskadenoptionen im Vergleich zur Ist-Situation (Holz) bzw. dem Verzicht auf Kaskadennutzung (Papier, Textil, Kunststoff); die Prozentwerte geben die Veränderung der Gesamtumweltlast für den Durchschnitt in Deutschland an, bei vollständiger Umsetzung der Kaskaden.



Ein Grund für die oft knappen Vorteile liegt u.a. darin, dass die Ökobilanzmethodik mit dem Prinzip der Nutzengleichheit sehr stark erweiterte Systeme berechnet, die im Ergebnis häufig zu relativ geringen Unterschieden führen. Außerdem ist zu beachten, dass die Substitution fossiler Rohstoffe bzw. von Energieträgern durch die energetische Nutzung von Biomasse in den Systemen einen erheblichen Anteil an Emission bzw. Einsparung einnimmt, unabhängig davon ob diese Nutzung direkt oder erst nach einer Kaskade erfolgt.

Die genaue Definition der Systeme ist in vielfacher Hinsicht entscheidend für die Gestaltung der Ergebnisse: So wird für die Varianten der Holzskaskaden eine konstante Entnahme von Holz aus dem Wald vorausgesetzt. Die Massenströme werden lediglich umgelenkt. Diese Varianten zeigen im Ergebnis keine Einsparung bei Flächeninanspruchnahme und oder Entnahme biogener Rohstoffe. Hier wird die Einsparung fossiler und/oder mineralischer Rohstoffe gegenbilanziert. Bei Papier und Textilien dagegen werden durch Kaskadennutzung in verschiedener Weise die gleichen Anbaurohstoffe (Holz/Zellstoff bzw. Baumwolle) eingespart. Hier zeigen sich z.T. erhebliche Potenziale zu Entlastung

bei Flächeninanspruchnahme und biogenen Rohstoffen. Bei den Biokunststoffen wird ähnlich wie Holz von einer konstanten Biomasseproduktion ausgegangen. Die Kaskadennutzung ersetzt am Ende keine Biomasseproduktion zur direkten Energienutzung (theoretisch wäre Ethanol aus Bioplastikabfall denkbar, was aber derzeit fern jeder Praxis ist), sondern wiederum andere fossile Systeme.

Relevante Faktoren, die eine Kaskadennutzung von Biomasse ökologisch vorteilhaft machen sind:

- a) Hohe Qualität der stofflich substituierten Produkte
- b) Sicherstellung geringer Stoffverluste über die Kaskade, sodass die Energienutzung am Ende noch in hohem und effizientem Umfang möglich ist.

Weniger maßgeblich im Gesamtbild der Ökobilanz sind zumeist zusätzliche logistische und prozessuale Aufwendungen: bleiben zusätzliche Transportwege aufgrund von Kaskaden in einem Radius von wenigen hundert Kilometern, so ist die in der Regel auf der Lastenseite genauso unauffällig wie z.B. aufwendige Sortiertechnik z.B. bei Altholzsortierung.



## 6 Kaskadennutzung im Rahmen eines Gesamtkonzepts der Biomassenutzung

Die Frage, ob ein konkreter Fall von Kaskadennutzung grundsätzlich nachhaltig und ressourceneffizient ist, ist häufig nicht einfach zu beantworten. Mit dem hier erarbeiteten Konzept wird ein Instrument vorgeschlagen, welches in Form eines „Frühwarnsystems“ für eine richtungssichere Nachhaltigkeitsbewertung konkreter Biomassekaskaden dienen kann.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden hierzu verschiedene Ansätze analysiert und geprüft. Entscheidend war dabei die Frage, wie umfassend oder wie stark vereinfachend das Bewertungskonzept gestaltet werden soll. Anforderungen an das Konzept waren dabei

- ▶ Anbindung an bestehende Methoden
- ▶ Verständlichkeit, Kommunizierbarkeit und Nachvollziehbarkeit
- ▶ Multi-kriterielle Entscheidungsunterstützung in einem konsistenten Modell
- ▶ Bewertung soll auf zwei Ebenen möglich sein: (a) Kaskadennutzung im Gesamtsystem (Makrooptimierung) oder (b) im Vergleich von Alternativen (Mikrooptimierung)
- ▶ Anwendung auf Sektorebene wie auch für Einzelfälle

Da die Materie in mehrfacher Weise komplex ist (Nachhaltigkeitsbewertung an sich, Systeme der Kaskadennutzung umso mehr) wurde ein Ansatz gewählt, der mit der Auswahl an Indikatoren die ökologischen und sozioökonomischen Kernaspekte einbezieht, damit einen guten Überblick gibt, und für die Anwendung einen überschaubaren Aufwand bedeutet. Der Anwendungsbereich ist angesichts der noch frühen Phase einer Umsetzung des Kaskadengedankens primär die wissenschaftliche Beratung für eine politische Umsetzung. Damit liegt die Anwenderzielgruppe vorderhand im Bereich der Wissenschaft.

Damit kann auch ein gewisses Maß an Reflektion bei der Anwendung vorausgesetzt werden. Aufgrund der Komplexität der Aufgabenstellung wäre eine zu starke Automatisierung der Bewertung im Übrigen nicht zielführend und richtungssichere Ergebnisse nicht sichergestellt. Somit ist eine aktive Befassung mit der Materie gefordert (z.B. Recherche nach Ökobilanzergebnissen oder eigene kurze Screening-LCA, begründete Argumente zu den sozioökonomischen Indikatoren).

Das entwickelte Bewertungsraster wurde auf die im Projekt untersuchten Kaskaden angewandt. Diese Vorarbeit kann generell als Orientierung, insbesondere aber als Leitfaden für die Übertragung auf andere Kaskadennutzungen dienen. In Abbildung 2 ist die Anwendung auf das Beispiel der Holzkaskaden (siehe Abschnitt 5) dargestellt. Daraus erschließt sich auch die Auswahl der zu Grunde gelegten umweltbezogenen wie auch sozioökonomischen Indikatoren.

Das Prinzip beruht auf der Einstufung einer Kaskadenoption mit einer anderen Biomassenutzungsoption (Referenz), die entweder einen Status quo oder einen definierte Fall von „nicht-Kaskade“ beschreibt. Im Beispiel der Biokunststoffe wurden die Kaskaden mit der Nutzung der Anbaubiomasse zu Bioethanol als Kraftstoff verglichen. Im Beispiel Holz dagegen wurde der Status quo der Holznutzung zu Grunde gelegt. Die Einstufung erfolgt anhand einer 5-stufigen Werteskala mit folgender Ausgestaltung:

„Im Vergleich zum Referenzfall (ohne Kaskade) weist die bewertete Option

- ▶ einen herausragend positiven Effekt auf
- ▶ einen positiven Effekt auf
- ▶ weder einen positiven noch negativen Effekt auf, sie verhält sich neutral
- ▶ einen negativen Effekt auf
- ▶ einen stark negativen Effekt auf“

2
1
0
-1
-2

Von zentraler Wichtigkeit ist die Transparenz der Vorgehensweise beim Einstufen und deren Begründung. Daher ist der Methode ein Anwender-Leitfaden beigelegt, welches Orientierung gibt, ab wann die Bewertung „2“ gerechtfertigt ist oder unter welchen Aspekten eine „-1“ zu vergeben wäre. Es bleibt dabei Handlungsspielraum für die Anwender, die jeden Wert argumentativ begründen müssen.

Das Beispiel in Abbildung 2 zu den Holzkaskaden zeigt, dass nur bei der „Extrem-Option D“ die extremen Punktwerte auftreten. Dies signalisiert den theoretisch hohen positiven Effekt bei jedoch nahezu unüberwindbaren Umsetzungsschwierigkeiten angesichts der politischen Rahmenbedingungen.

Abbildung 2: Bewertungskonzept angewandt auf die Ergebnisse der untersuchten Holzkaskaden

Indikator	Information aus ...	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	
<b>Ökologisch</b>						
Ressourcen-effizienz	Wertschöpfungskette/ Kaskadeneffekt	Erhöhung der Kaskadenstufen (BUF)	1	1	0	2
	nicht erneuerbare Energieträger	LCA Ergebnis: KEA <sub>fossil/mineralisch</sub>	1	1	-1	2
	Ressourcenschonung: Biomasse	LCA Ergebnis: kumulierter biogener Rohstoffaufwand, KRA <sub>bio</sub>	0	0	0	0
Klimaschutz: Treibhausgasemissionen	LCA Ergebnis	1	1	1	2	
Eutrophierung	LCA Ergebnis	1	1	1	2	
Biodiversität: Naturraum	LCA Ergebnis	0	0	0	0	
<b>Sozioökonomisch</b>						
Produktqualität	<b>Leitfragen:</b> Gibt es eine Schadstoffanreicherung in Produkten?	-1	0	0	0	
Ernährungssicherung	Bestehen hier Konflikte, werden solche durch die Option ggü. Status quo gemindert?	0	0	0	0	
Gesellschaftliche Wahrnehmung	Wird diese Option in der Gesellschaft wahrgenommen? Wenn ja, positiv?	0	0	0	1	
Politische Rahmenbedingungen	Sind die politischen Rahmenbedingungen gegeben für eine Umsetzung der Option?	1	1	-1	-2	

Erläuterung zu den Optionen der untersuchten Holzkaskaden:

Option 1: Teilweise Umlenkung von Altholz zu mehr stofflicher Nutzung in Holzwerkstoffen

Option 2: Teilweise Umlenkung von Energieholz aus dem Wald zu stofflicher Nutzung in Holzwerkstoffen

Option 3: Teilweise Umlenkung von Energieholz aus dem Wald als Input in chemische Syntheseprozesse (als Basis für Chemikalien oder „fortschrittliche“ Biokraftstoffe)

Option 4: Vollständige Umlenkung von Energieholz aus dem Wald zu stofflicher Nutzung (v.a. im Bausektor) und damit Erhöhung der Kaskadennutzung im Holzsektor insgesamt

## 7 Eckpunkte einer Strategie zur Implementierung der Kaskadennutzung von Biomasse

### 7.1 In welcher Weise beziehen sich bestehende Politikstrategien auf die Kaskadennutzung

Der Begriff der Kaskadennutzung findet sich in verschiedenen relevanten Strategie- und Positionspapieren der deutschen wie der europäischen Politik. Dabei wird er stets im Zusammenhang mit der **Biomassennutzung** und dem Ziel der **Erhöhung der Ressourceneffizienz** geführt. In diesem Projekt wurden wesentliche Strategie- bzw. Positionspapiere daraufhin analysiert, wie die Kaskadennutzung konkret adressiert wird und mit welchen Ansätzen sie umgesetzt werden soll. Tabelle 1 führt die Kernaussagen dieser Dokumente zur Kaskadennutzung und den strategischen Zusammenhang auf.

Auf die verschiedenen Verständnisse und Definitionen zur Kaskadennutzung in den Papieren wurde in Abschnitt 2 hingewiesen. Mit den Neuauflagen der *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie* von 2016 und des *Deutschen Ressourceneffizienzprogramms (ProgRess II)* wird – insbesondere in Deutschland – die Rolle der Kaskadennutzung strategisch **eng mit den Zielen der Kreislaufwirtschaft gekoppelt**.

Die untersuchten Strategie- und Positionspapiere bleiben, was die konkrete Benennung von **Maßnahmen und Handlungsfelder zur Umsetzung der Kaskadennutzung** im Sinne dieser Ziele angeht, weitgehend allgemein. Die wesentlichen genannten Ansatzpunkte für strategische Handlungsfelder lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- ▶ Zertifizierungs- und Produktkennzeichnung, da die Konsumentenseite genauso wichtig ist wie die Produzentenseite (Nachhaltigkeitsstrategie 2016)
- ▶ Lenkung von nachwachsenden Rohstoffen in die stoffliche Nutzung (ProgRess II)
- ▶ Verknüpfung von Wertschöpfungsketten (BioÖkonomie Strategie)
- ▶ Mehr multidisziplinäre und sektorübergreifende Forschung (DG Forschung)
- ▶ Konkrete Leitlinien für die Verbreitung bewährter Verfahren der Kaskadennutzung (DG Umwelt)
- ▶ Konsequente Umsetzung der Prinzipien der Kreislaufwirtschaft, d.h. der Abfallhierarchie, sowie eines nachhaltigen Ökodesigns der Produkte (EEA)

In der *Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt* (Bundesregierung 2007) ist der Begriff der Kaskadennutzung zwar noch nicht enthalten, doch finden sich in den darin geforderten Maßnahmen zur Umsetzung der Handlungsziele Elemente, die mit einigen der oben genannten Punkte übereinstimmen („... *größt-mögliche Schonung der Ressourcen durch sparsamen und effizienten Einsatz, eine verstärkte Verwendung von Recyclingprodukten und nachwachsenden Rohstoffen ...*“).

Das bedeutendste Thema in der Umweltpolitik ist der Klimaschutz. Als relevantes nationales Strategiepapier dazu ist das *Aktionsprogramm Klimaschutz 2020* der Bundesregierung (BMUB 2014) zu nennen. Die Kaskadennutzung wird darin nicht explizit genannt, klingt jedoch implizit mit, wenn gesteigerte Ressourceneffizienz, verstärktes Recycling und Wiederverwendung als Maßnahmen für den Klimaschutz benannt werden. Zur Umsetzung der Beschlüsse von Paris entwickelt die Bundesregierung derzeit den *nationalen Klimaschutzplan 2050*. Noch im Sommer 2016 soll hierüber ein Beschluss beschlossen werden. Die erforderlichen Maßnahmen bis zum Reduktions-Zielwert von 80 bis 95 % im Jahr 2050 werden dabei in einem breiten Dialogprozess ausgearbeitet. Aktuell wurde hierzu ein Maßnahmenkatalog veröffentlicht, der die Kaskadennutzung im Kontext von Recycling und Kohlenstoffspeicher in Produkten als Maßnahme für den Klimaschutz aufführt (Wuppertal Institut et al. 2016). In einem Positionspapier nimmt auch das UBA (2016) Stellung zu den notwendigen Schlüsselmaßnahmen für den *Klimaschutzplan 2050* und bezieht sich dabei vorwiegend auf die effiziente Nutzung von kohlenstoffhaltigen Reststoffen.

Tabelle 1: Übersicht einer Auswahl von relevanten Strategie- und Positionspapieren mit Bezug zur Kaskadennutzung

Strategisches Papier	Herausgeber	Rolle der Kaskadennutzung	Umsetzung über
Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie, Neuauflage 2016	Bundesregierung (2016)	Mit Bezug auf 12. SDG: „ <u>Nachhaltige Produkte sollen möglichst <i>langlebig gestaltet, ressourceneffizient</i> und nach ihrer Nutzung so weit wie möglich <i>wiederverwertbar sein (Kaskadennutzung)</i>“</u>	Zertifizierungs- und Produktkennzeichnung
Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II (ProgRess II)	Bundesregierung (BMUB 2015)	es „gilt, die <u>Materialeffizienz</u> von nachwachsenden Rohstoffen und die <u>Effizienz technischer Prozesse</u> mit gezielter Forschung zu <u>optimieren</u> und voll aususchöpfen. Durch den Ausbau der <b>Kaskadennutzung</b> werden diese Prinzipien unterstützt“	Lenkung von nachwachsenden Rohstoffen in die stoffliche Nutzung
Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030	BMBF (2010)	„ <u>Produkte mit einem höheren Wertschöpfungspotenzial zu bevorzugen...</u> Wo möglich und sinnvoll, ist eine <b>Kaskaden- und Koppelnutzung</b> von Biomasse vorzuziehen.“	Bioraffinerien, intelligente Verknüpfung von Wertschöpfungsketten
Maßnahmenkatalog - Ergebnis des Dialogprozesses zum Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung	BMUB (Wuppertal Institut, ifeu, Öko-Institut, ISI, IRESS, IFOK 2016)	Nennung der Kaskadennutzung in den Maßnahmen:  <i>Förderung nachhaltiger, multifunktionaler Forstwirtschaft (KSP-L-09)</i>  <i>Hochwertige Verwendung und Verwertung von Stoffen, Bauteilen und Baugruppen, Einsatz nachhaltiger Baustoffe (KSP-G-02)</i>	Stoffliche Weiterverwendung / Recycling fördern Kohlenstoffspeicher langlebiger Holzprodukte, innovative Ansätze
UBA Position zum Klimaschutzplan	UBA (2016)	„ <u>Kohlenstoffhaltige Reststoffe</u> von produzierenden Unternehmen ... sollten <u>nach Möglichkeit auch zur Energiegewinnung genutzt werden, wenn höherwertige Verwendungen bzw. Verwertung im Sinne einer <b>Biomassenkaskadennutzung</b> ausgeschöpft sind.</u> “	Effiziente Nutzung von kohlenstoffhaltigen Reststoffen
Waldstrategie 2020	Bundesregierung (BMEL 2011)	„Zur <u>Steigerung der Ressourceneffizienz</u> sind die <u>Vermeidung von Abfällen</u> und die <u>Rückführung von Wertstoffen aus Abfällen in den Wirtschaftskreislauf unverzichtbar</u> . Grundsätzlich soll die sinnvolle <b>Kaskadennutzung</b> knapper Rohstoffe in der Holz- und Papierwirtschaft <u>weiter verstärkt werden</u> . Hier bestehen zusätzliche Reserven, die – unterstützt von Forschungsmaßnahmen – erschlossen werden müssen.“	Entwicklung innovativer Holzprodukte und effizienter Herstellungsverfahren
Innovating for Sustainable Growth a Bioeconomy for Europe	EU Kommission DG Research and Innovation (2012)	„Promote the setting up of <u>networks ... including the necessary logistics and supply chains for a <b>cascading use</b> of biomass and waste streams.</u> “	multi-disciplinary and cross-sectoral research

Strategisches Papier	Herausgeber	Rolle der Kaskadennutzung	Umsetzung über
Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft	EU Kommission DG Environment (2015)	„...kreislauforientierte Wirtschaft, bei der es darum geht, den <u>Wert von Produkten, Stoffen und Ressourcen innerhalb der Wirtschaft so lange wie möglich zu erhalten und möglichst wenig Abfall zu erzeugen</u> “.	Erstellung von Leitlinien und die Verbreitung bewährter Verfahren der Kaskadennutzung
Circular economy in Europe — Developing the knowledge base	EEA (2015)	... biomass is best used in a <b>cascade</b> in which energy generation is the last step rather than the first.” Verständnis : cascading use = low-level recycling	Ecodesign, Fördermaßnahmen, Business models, Ecoinnovation
Resource efficiency: moving towards a circular economy (2014/2208(INI))	European Parliament (2015)	“This includes fully implementing a <b>cascading use</b> of resources, sustainable sourcing, a waste hierarchy, creating a closed loop on non-renewable resources, using renewables within the limits of their renewability and phasing out toxic substances”  Kaskadennutzung als ein Baustein eines möglichst ressourceneffizienten Wirtschaftssystem	Diverse Maßnahmen über die Wertschöpfungskette
Policy briefing: Cascading use of biomass: opportunities and obstacles in EU policies	EEB, BirdLife Europe (2015)	Kaskadennutzung ist die konsequente Umsetzung der Abfallhierarchie	Ökonomische Belohnung von konformen Verhalten gegenüber der Abfallhierarchie
Cascading of woody biomass: definitions, policies and effects on international trade	IEA Bioenergy Task 40 (Olsson et al. 2016)	“cascading” ... could be among the appropriate policy tools, but for a vital debate, it is important <u>not to assume that cascading is the silver bullet</u> ”	warnen vor gesetzlichen Vorgaben zur Umsetzung der Kaskade

## 7.2 Verortung der Kaskadennutzung in den drei „Kernstrategien“

Eine der Aufgaben des Projekts ist es, die Kaskadennutzung von Biomasse im Lichte der drei Kernstrategien zur Senkung der Ressourceninanspruchnahme zu spiegeln:

- ▶ **Effizienz** (Verhältnis von Nutzen zum dafür nötigen Ressourceneinsatz).
- ▶ **Konsistenz** (vereinfacht: die Substitution von fossilen Ressourcen durch erneuerbare; → Bioökonomie)
- ▶ **Suffizienz** (Verringerung der Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen)

Die Kaskadennutzung von Biomasse soll zur **Ressourceneffizienz** beitragen. Sie soll die begrenzt zur Verfügung stehende Ressource Fläche für den Anbau von Biomasse bzw. die Biomasse effizienter nutzen und damit Konkurrenzen, v.a. gegenüber der Nahrungsmittelsicherheit, verringern. Gleichzeitig werden damit Beiträge zum Klimaschutz, Biodiversitätsschutz und andere Umweltvorteile verbunden.

Die Ergebnisse dieses Projekts bestätigen, dass diese Erwartungen für die Mehrzahl der Fälle berechtigt sind.

**Konsistenz** und **Suffizienz** dagegen können durchaus gegenläufige Erwartungen an die Ausgestaltung der Kaskadennutzung stellen. Je nachdem, welchem übergeordneten Umweltziel man Vorrang einräumt, kann die positive Ressourceneffizienz der Kaskadennutzung dazu genutzt werden:

- ▶ Entweder **weniger Flächeninanspruchnahme** und damit **weniger Rohstoffentnahme** bei quantitativ etwa gleich hoher (und teilweise zeitlich versetzter) Biomassenutzung in der Material- und Energiewirtschaft zu ermöglichen.  
Unter der Annahme, dass alle Agrarflächen vollständig genutzt werden und die agrarische Produktion nicht mehr über eine Flächenausdehnung gesteigert werden kann, sondern tendenziell zurück zu fahren sei, würde sich die Kaskadennutzung hier einer auf Suffizienz ausgerichteten Politik zuordnen.
- ▶ Oder der Wirtschaft **mehr biobasiertes Ausgangsmaterial** zur Verfügung zu stellen bei gleich hohem Verbrauch an primären Rohstoffen und damit Flächen.  
Unter der Voraussetzung, dass die vollständige Substitution von fossilen Rohstoffen (Konsistenz) gerade dieses Mehr an Biomasserohstoff erfordert, würde hier die Kaskadennutzung die freiwerdende Flächen für den Ausbau stofflicher Produkte zur Verfügung stellen. Die auf der Fläche erzeugten Biomasserohstoffe werden hier in die stoffliche Nutzung umgelenkt. Sie erreichen die energetische Nutzung in Abhängigkeit der Nutzungsdauer in einem zeitlichen Versatz.

Auf politisch übergeordneter Ebene braucht es in der Tat eine Priorisierung, an welcher der beiden Richtungen die Kaskadennutzung nun ausgerichtet werden soll. In der konkreten Praxis lassen sich die beiden „Entweder/Oder“-Ansätze durchaus auch kombinieren, um mit beiden Strategien die bisher mäßige Umsetzung der Kaskadennutzung zu stärken. Denn tatsächlich werden derzeit nach wie vor sehr hohe Anteile an Biomasse direkt energetisch genutzt. Bei Holz werden derzeit 44 % ohne stoffliche Nutzung verbrannt.

Neben weiteren erwarteten Umweltentlastungseffekten sollte ein teilweiser Rückzug aus der primären energetischen Biomassenutzung mit einer Umlenkung der dann verfügbar werdenden Primärrohstoffe in die stoffliche Nutzung grundsätzlich folgenden Handlungszielen dienen:

- ▶ Entlastung des Drucks auf die Flächennutzung
- ▶ Steigerung der für die stoffliche Nutzung verfügbaren Biomasse,
  - a.) durch die Umlenkung der hohen bereits direkt energetisch genutzten Biomassemenge.
  - b.) für den Umstieg in die „Bioökonomie“ (verstanden als weitgehende Ablösung der fossilbasierten Stoffwirtschaft in eine biobasierte)

Dabei gilt es in erster Linie im Rahmen der Bioökonomie zu klären, wie umfassend der Wandel von einer erdöl- zu einer bio-basierten Wirtschaft (BMBF 2010) erfolgen soll. Tatsächlich würde eine vollständige Substitution fossiler Rohstoffe durch biotische Rohstoffe erhebliche Ressourcenmengen in Anspruch nehmen mit den gleichen Konflikten, die seit nunmehr zehn Jahren zur Bioenergie-/Biokraftstoffpolitik diskutiert werden. Die Kaskadennutzung wird hier ihren Beitrag zur Entlastung leisten können, sicher aber nicht alle potenziellen Konflikte einer umfassenden „Bioökonomisierung“ abfangen können.

### 7.3 Rolle der Kaskadennutzung in der Ressourcenpolitik

Wie aus der vorangehenden Analyse hervorgeht, ist die Kaskadennutzung von Biomasse als eigenständige Strategie außerhalb der zuvor beschriebenen Zusammenhänge wenig sinnvoll, da sie bereits mit bestehenden Politikstrategien (Ressourceneffizienz, Bioökonomie, Circular Economy) methodisch eng verzahnt ist. Dazu kommen folgende praktische Argumente:

- ▶ Kaskadennutzung ist als generalisierte Anforderung in der komplexen Welt der Produktherstellung sehr aufwändig umzusetzen. Das zeigen auch die Ergebnisse der Einzelbetrachtungen dieses

Forschungsprojekts, welche existierende Kaskadenkonzepte sowie Hemmnisse und Erfolgsfaktoren untersucht haben. Erfolgreiche Praxisbeispiele sind überaus rar.

- ▶ Kaskadennutzung spielt sich im engen Geflecht von Lieferketten ab und ist abhängig von perfekt geschlossenen und qualitätsgesicherten Stoffkreisläufen. Daher zeigen sich in der Praxis neben der Papierwirtschaft und Teilen der Holzwirtschaft bisher nur Umsetzungen in Nischenprodukten und Nischenmärkten.

Anstatt als eigenständige Strategie muss Kaskadennutzung vielmehr als ein „**Prinzip**“ zur **Unterstützung von übergreifenden Zielen und deren Strategien** verstanden werden. Darin kann sie spezifisch dienen

- ▶ zur Steigerung der Ressourceneffizienz per se (z.B. im Rahmen der Ressourcenstrategie)
- ▶ für einen ressourceneffizienten Umstieg in die biobasierte Stoffwirtschaft. In der Bioökonomie würde sie als essenzielle Komponente benötigt.

Das Ziel einer Strategie zur Implementierung der Kaskadennutzung von Biomasse würde somit lauten:

Der konsequente Weg zu biobasierten Produkten im Sinne der Bioökonomie muss aus der zwingenden Notwendigkeit der nachhaltigen und umweltgerechten Nutzung von Biomasse (Flächenbedarf, -konkurrenz, ILUC etc.) die **Kaskadennutzung als Prinzip** umsetzen.

„Als Prinzip“ bedeutet gleichzeitig: nachweislich der tatsächlichen Verbesserung der Ressourceneffizienz im Einzelfall. Hierzu bedarf es geeigneter Messgrößen und Indikatoren, wie sie z.B. vom Projekt vorgeschlagen werden. Eine solche Einzelfallprüfung ist notwendig, denn nicht jegliche Kaskadennutzung ist von vorne herein sinnvoll und zielführend. **Unbedingt zu vermeiden** ist neben einer Berücksichtigung der sonstigen Prüfkriterien gemäß § 6 Abs. 2 KrWG:

- ▶ Verdrängung von wünschenswerten höherwertigen Wiederverwendungen,
- ▶ Erzeugung von „nutzlosen“ Produkten, für die erst ein Markt erzeugt werden muss,
- ▶ Schadstoffanreicherungen in Produkten.

Was bedeutet das für die Politik?

Erste Voraussetzung ist eine klarere Zielstruktur für die sogenannte Bioökonomie. In diese muss die Kaskadennutzung als Grundelement für die Optimierung der Effizienz bei der Ressourcennutzung eingebettet werden.

## 7.4 Anknüpfungspunkte an bestehende Strategien

Aus den vorangehenden Analysen zeichnen sich zwei Kernstrategien ab, mit welcher das Prinzip der Kaskadennutzung eng verflochten ist, bzw. welche durch die Kaskadennutzung gerade miteinander verzahnt werden:

- ▶ Die Bioökonomie
- ▶ Die erweiterte Kreislaufwirtschaft (circular economy)

Beiden Ansätzen ist das Ziel der Schonung von Ressourcen mit einer insgesamt effizienteren Bewirtschaftung der Ressourcen gemein. Die Bioökonomie hat den deutlichen Fokus auf biobasierte Produkten und innovative Verfahren zur Herstellung der Produkte. Wenngleich aktuelle Strategiepapiere zur Bioökonomie (BMBF 2010, EC DG Research and Innovation 2012) die Kaskadennutzung anders definieren, so stimmen Ziel und Leitlinien doch überein.

Die Kreislaufwirtschaft ist über die Abfallhierarchie bereits nahezu vollständig „harmonisiert“ mit dem Kaskadenprinzip, was den Nach-Konsumenten-Bereich betrifft. Die Prozesse einer stoffgerechten Erfassung, Sammlung, Getrennthaltung bzw. Trennung entsorgter Post-Konsumenten-Abfälle und deren

Recycling (open-loop, closed-loop, up/down), stoffliche und energetischer Verwertung spiegeln somit für biogene Sekundärrohstoffe eins zu eins das Kaskadenprinzip wider.

Die Kreislaufwirtschaft ist somit das Prinzip der Stoffstromführung quer über Wertschöpfungsketten hinweg, welches allgemeingültig für alle Arten der Stoffwirtschaft gilt, ob biobasiert, fossil, mineralisch. Der Mehrwert des Begriffs der Biomassekaskadennutzung liegt darin, das (allgemein etablierte, wenngleich keinesfalls zufriedenstellend umgesetzte) hierarchische Prinzip substantiell in der Bioökonomiestrategie zu verankern.

Das Kaskadenprinzip entsprechend der Definition dieses Projektes schließt durch die Integration beider Aspekte damit die Lücke zwischen der Biomasseverwendung in Haupt- und Co-Produkten und der Abfallhierarchie (nova 2015).

## 7.5 Strategische Eckpunkte zur Verstärkung der Kaskadennutzung

Die Eckpunkte werden nach verschiedenen Handlungs- und Entscheidungsebenen geordnet unterschieden. Sie richten sich **prioritär an politische Entscheidungsträger** und gliedern sich dort in Handlungsbereiche

- ▶ zur Gestaltung der weiteren Rahmenbedingungen,
- ▶ zur Gestaltung des Fachrechts,
- ▶ zur Schwerpunktsetzung in der Forschung.

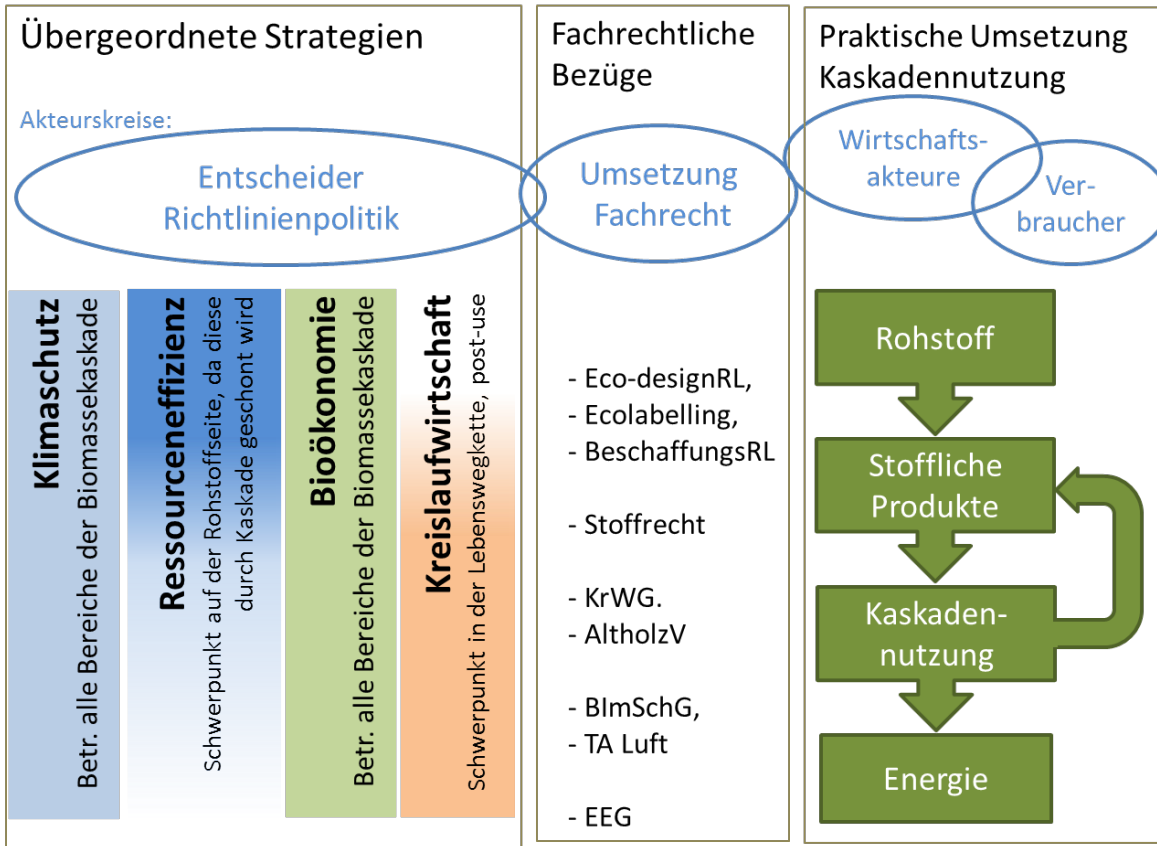
Angesprochen sind gleichermaßen

- ▶ die **Wirtschaftakteure**, die die Kaskadennutzung schließlich umsetzen und mit ökonomischem Leben füllen müssen
- ▶ die **Verbraucher**, die durch ihr Kaufverhalten maßgeblich beteiligt sind. Schließlich betont die Nationale Nachhaltigkeitsstrategie (Bundesregierung 2016): „*Nachhaltiger Konsum und nachhaltige Produktion sind damit ‚zwei Seiten derselben Medaille‘*“. Und auch über das Thema Suffizienz ist die Einbeziehung der Verbraucher unerlässlich.

In Abbildung 3 sind die betroffenen Ebenen von Handlungsfeldern (die übergeordneten Strategien, das Fachrecht, die Umsetzung) mit den angesprochenen Akteurskreisen (Politik, Wirtschaft, Verbraucher) entlang der „Kaskadenkette“ zusammengeführt.



Abbildung 3: Verschneidung der betroffenen Ebenen von Handlungsfeldern und Akteurskreisen und für die strategischen Eckpunkte zur Verstärkung der Kaskadennutzung



## 8 Zusammenfassung

Die Kaskadennutzung von Biomasse wird von zahlreichen umweltpolitischen Strategien und Programmen als wichtiges Element zur Steigerung der Ressourceneffizienz verstanden. Der Begriff ist jedoch unklar definiert. Die im Projekt entwickelte *Definition* ermöglicht zum einen klare Abgrenzungen zwischen den Begriffen. Im ersten Schritt des Forschungsprojekts wurden bei der Analyse existierender Konzepte der Kaskadennutzung deutlich, dass in der Praxis die Anzahl an erfolgreichen Beispielen überschaubar ist. Herausgearbeitet wurden als relevante Felder der *Holzsektor*, der *Papiersektor*, der *Textilsektor* und der *Kunststoffsektor*, der einer Transformation in Richtung *biobasierte Kunststoffe* bedarf.

Nach einer Analyse des agrarischen und forstlichen *Rohstoffpotenzials* als Ausgangspunkt der Kaskade wurden umfassende *Ökobilanzen* zu verschiedenen Kaskadenoptionen jeweils innerhalb der oben genannten vier Sektoren durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten deutliche umweltseitige Vorteile für die Mehrzahl der untersuchten Kaskadenoptionen gegenüber dem Referenzfall ohne oder nur mit einer Kaskadenstufe. Es bedarf jedoch der Einzelfallbetrachtung. In Fortführung der Erkenntnisse aus den komplexen Ökobilanzen wurde daher ein *Bewertungskonzept* entwickelt und vorgeschlagen, das der Einschätzung möglicher Kaskadenansätze zwar auf breiterer Ebene, jedoch auch mit geringerer Detaillierungstiefe dienen soll. Es liefert als „Frühwarnsystem“ Orientierung darüber, ob ein Ansatz aus Nachhaltigkeitssicht als sinnvoll bzw. erfolgversprechend einzustufen wäre.

Bei der Vorstellung der im Forschungsprojekt erarbeiteten *Eckpunkte einer Strategie* zur Förderung der Kaskadennutzung von Biomasse wurde unterstrichen, dass die Kaskadennutzung nicht als eigenständige Politikstrategie etabliert werden sollte, sondern sie vielmehr als „Prinzip“ zur Unterstützung übergreifender Politikziele und Strategien einzubinden ist.

Nicht zuletzt ist auch der Konsument in der Pflicht. Hierzu bedarf es Bewusstseinsbildung, vor allem in Richtung der effektivsten Strategie zur Reduktion des Ressourcenverbrauchs: der Suffizienz.

Es wird daher ein Mix oder vielmehr ein Zusammenwirken von Strategien benötigt, zum nachhaltigen Umgang mit Ressourcen. Allein die Forderung nach mehr Kaskadennutzung greift zu kurz. Der „Erfolg“ muss im Einzelfall messbar und nachweisbar sein, wofür das oben angeführte Bewertungskonzept dienen kann. Kaskadennutzung muss gekoppelt einhergehen mit effizienten Produktionsweisen und entsprechenden Produktdesigns, um Wechselwirkungen und Rückkopplungseffekte verschiedener Politikfelder und Wirtschaftszweige transparent abzuschätzen und damit steuerbar zu machen.

## 9 Literatur

- Arnold, K.; Bienge, K.; von Geibler, J.; Ritthoff, M.; Targiel, T.; Zeiss, C.; Meinel, U.; Kristof, K. & S. Bringezu (2009): Klimaschutz und optimierter Ausbau erneuerbarer Energien durch Kaskadennutzung von Biomasse - Potenziale, Entwicklungen und Chancen einer integrierten Strategie zur stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse. Wuppertal Institut, Wuppertal.
- BirdLife Europe, EEB (2016): Cascading use of biomass: opportunities and obstacles in EU policies; Policy briefing by BirdLife Europe and the European Environmental Bureau; Brüssel, 2016  
[http://www.birdlife.org/sites/default/files/attachments/cascading\\_use\\_memo\\_final.pdf](http://www.birdlife.org/sites/default/files/attachments/cascading_use_memo_final.pdf).
- BMBF (2010). Nationale Forschungsstrategie BioÖkonomie 2030, Bundesministerium für Bildung und Forschung 1–56, Bonn 2010.  
<https://www.bmbf.de/pub/biooekonomie.pdf>.
- BMEL (2011): Waldstrategie 2020 - Nachhaltige Waldbewirtschaftung – eine gesellschaftliche Chance und Herausforderung; Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft; Bonn 2011; <http://www.bmel.de/DE/Wald-Fischerei/Forst-Holzwirtschaft/texte/Waldstrategie2020.html>
- BMUB (2014): Aktionsprogramm Klimaschutz 2020; Kabinettsbeschluss vom 3. Dezember 2014;  
<http://www.bmub.bund.de/N51378/>
- BMUB (2015): Nationales Programm für nachhaltigen Konsum; Stand 16.02.2016  
[http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Produkte\\_und\\_Umwelt/nat\\_programm\\_konsum\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Produkte_und_Umwelt/nat_programm_konsum_bf.pdf)
- BMUB (2015): ProgRess II - Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II - Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen; Berlin, 2015  
[http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/progress\\_ii\\_broschuere\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf)
- BMWi (2016): EEG-Novelle 2016 - Kernpunkte des Kabinettsbeschlusses vom 8.6.2016  
[http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/eeg-2016-novelle-praesentation-kernpunkte-8-6-2016.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=2](http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/eeg-2016-novelle-praesentation-kernpunkte-8-6-2016.pdf?__blob=publicationFile&v=2).
- Bundesregierung (2016): Entwurf der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie - Neuauflage 2016  
<https://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatistischeSeiten/Breg/Nachhaltigkeit/0-Buehne/2016-05-31-text-zum-entwurf-nachhaltigkeitsstrategie.html>
- Dammer, L.; Bowyer, C.; Breitmayer, E.; Eder, A.; Nanni, S.; Allen, B. Carus, M. & R. Essel (2016): Mapping study on cascading use of wood products. Word Wide Fund for Nature (WWF), Switzerland.
- EEA (2015): Circular economy in Europe — Developing the knowledge base; EEA Report No 2/2016; Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016  
<http://www.eea.europa.eu/publications/circular-economy-in-europe>
- Entwurf eines Gesetzes zur Einführung von Ausschreibungen für Strom aus erneuerbaren Energien und zu weiteren Änderungen des Rechts der erneuerbaren Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG 2016) <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/G/gesetzentwurf-ausschreibungen-erneuerbare-energien-aenderungen-eeg-2016,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf>
- EU DG ENVI (2015): Den Kreislauf schließen – Ein Aktionsplan der EU für die Kreislaufwirtschaft; Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen; COM(2015) 614; Brüssel, den 2.12.2015

European Commission, DG Research and Innovation (2012): commission staff working document accompanying the document Communication on Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe Innovating for Sustainable Growth – A Bioeconomy for Europe. Brussels, 2012

European Parliament (2015): Resource efficiency: moving towards a circular economy; report by the Committee on the Environment, Public Health and Food Safety (2014/2208(INI)); <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//TEXT+REPORT+A8-2015-0215+0+DOC+XML+V0//EN>

FNR Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2015): Anbaufläche für nachwachsende Rohstoffe; <https://mediathek.fnr.de/grafiken/pressegrafiken/anbauflaeche-fur-nachwachsende-rohstoffe.html>

Fraanje, P.J. (1997): Cascading of pine wood. In: Resources, Conservation and Recycling 19: 21-28

Holmberg, A. (2014a): persönliches Gespräch im Rahmen des Workshops „Cascading use of Biomass – from theory to practice. 01.04.2014, Brüssel.

Korolkov, J. (2016): Konsum, Bedarf und Wiederverwendung von Bekleidung und Textilien in Deutschland. Studie im Auftrag des bvse - Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V., Bonn.

Mantau, U. (2012): Holzrohstoffbilanz Deutschland Entwicklungen und Szenarien des Holzaufkommens und der Holzverwendung von 1987 bis 2015; Hamburg, 2012, 65 S.

Mantau (2012a): Wood flows in Europe (EU27) ; Project report. Celle 2012, 24 pp  
<http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/forest/2012/CEPIWoodFlowsinEurope2012.pdf>.

nova-Institut (2016): Main findings of case studies - Biorefineries. In: Vis M., U. Mantau, B. Allen (Eds.) (2016) Study on the optimised cascading use of wood. No 394/PP/ENT/RCH/14/7689. Final report. Brussels 2016. 337 pages

Odegard, I, H. Croezen, G. Bergsma (2012). Cascading of biomass, 13 solutions for a sustainable biobased economy. Report Delft, August 2012. CE Delft

Olsson, O.; Bruce, L.; Roos, A.; Hektor, B.; Guisson, R.; Lamers, P.; Hartley, D.; Ponitka, J.; Hildebrandt, J. & D. Thrän (2016): Cascading of Woody Biomass: definitions, policies and effects on international trade. IEA Bioenergy Task 40. April 2016.  
[https://www.researchgate.net/publication/301553375\\_Cascading\\_of\\_woody\\_biomass\\_definitions\\_policies\\_and\\_effects\\_on\\_international\\_trade](https://www.researchgate.net/publication/301553375_Cascading_of_woody_biomass_definitions_policies_and_effects_on_international_trade)

Schräggle, R. (2015): Schadstoffe in Spanplatten - Status quo vor dem Hintergrund von Kaskadennutzung und Altholzeinsatz; Holz-Zentralblatt Nr. 3; Seite 56-57:

Sirkin, T. und M. ten Houten (1994): The cascade chain - A theory and tool for achieving resource sustainability with applications for product design. In: Resources, Conservation and Recycling 10 (3): 213-276

Steffen, W. et al. (2015) : Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet , Science 347, 1259855 (2015). DOI: 10.1126/science.1259855

UBA (2012): Glossar zum Ressourcenschutz; Umweltbundesamt; Dessau-Roßlau; Stand 17.1.2012  
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4242.pdf>.

UBA (2015): Auswertung der Consultic-Studie: "Produktion, Verarbeitung und Verwertung von Kunststoffen in Deutschland", <https://www.umweltbundesamt.de/daten/abfall-kreislaufwirtschaft/entsorgung-verwertung-ausgewaehlter-abfallarten/kunststoffabfaelle>

UBA (2016): Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung - Diskussionsbeitrag des Umweltbundesamtes; position // april 2016;  
<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/klimaschutzplan-2050-der-bundesregierung>

VDP – Verband Deutscher Papierfabriken e.V. (2016): Papier Kompass. VDP, Bonn.

Wuppertal Institut, ifeu, Öko-Institut, ISI, IRESS, IFOK (2016): Maßnahmenkatalog - Ergebnis des Dialogprozesses zum Klimaschutzplan 2050 der Bundesregierung; erstellt für BMUB, März 2016  
<http://www.klimaschutzplan2050.de/wp-content/uploads/2015/09/Massnahmenkatalog-3-1-final-Ergaenzungen-Anpassungen1.pdf>