

# DIE FOLGEN DES KLIMAWANDELS IN DEUTSCHLAND

Was können wir tun und was kostet es?

## **Kontakt**

**Umweltbundesamt  
Pressestelle  
Wörlitzer Platz 1  
D-06844 Dessau-Roßlau  
E-Mail: [pressestelle@uba.de](mailto:pressestelle@uba.de)**

**Autor:  
Clemens Haße (UBA)  
Fachgebiet I 1.7  
Stand: September 2012**

**Gestaltung: Bernd Kreuzer (UBA)**

**Titelfoto: © Claudia Hautumm pixelio.de  
Bildnachweis:  
Seite 5 © Micostock.Man - Fotolia.de  
Seite 7 © Martina Berg - Fotolia.de  
Seite 9 © Olaf Hermann - Fotolia.de**

## HINTERGRUNDPAPIER

# DIE FOLGEN DES KLIMAWANDELS IN DEUTSCHLAND: WAS KÖNNEN WIR TUN UND WAS KOSTET ES?

## INHALT

1. Der Klimawandel ist spürbar und verursacht Kosten, auch in Deutschland	2
2. Auf den Klimawandel vorbereiten, anpassen nach Maß	2
3. Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen helfen, die richtigen Maßnahmen zu identifizieren	3
4. Was kostet die Anpassung? Beispiele aus einer aktuellen Studie	4
Beispiel 1: Straßen hitzefest machen - Hitzeangepasste Beläge und Fahrbahndecken lohnen sich	5
Beispiel 2: Hochwasserschutz und Naturschutz effektiv verbinden - Renaturierung einer Auenlandschaft	7
Beispiel 3: Begrünung von Dächern - Eine effiziente Maßnahme gegen Sommerhitze in Städten	9
5. Nutzen -Kosten - Analysen zeigen: rechtzeitige Anpassung an den Klimawandel lohnt sich	10

## 1. DER KLIMAWANDEL IST SPÜRBAR UND VERURSACHT KOSTEN, AUCH IN DEUTSCHLAND

Das Klima ändert sich und mit ihm das Umfeld für Mensch und Umwelt. Wesentlicher Grund hierfür ist der vom Menschen verursachte Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre. Bereits seit Beginn der Industrialisierung sind die weltweiten Treibhausgasemissionen deutlich gestiegen und durch den sogenannten Treibhauseffekt steigen die Temperaturen. Nach Angaben des Deutschen Wetterdienstes war auch das letzte Jahr weltweit wieder wärmer als gewöhnlich. Das Jahr 2011 reiht sich ein in einen längeren Trend: In den vergangenen 30 Jahren waren weltweit 28 Jahre wärmer als das vieljährige Mittel. In Deutschland lag das Jahr 2011 sogar um 1,4 Grad über dem langjährigen Mittel von 8,2 °C. Das war hierzulande das viertwärmste Jahr seit Beginn deutschlandweiter Messungen im Jahr 1881. In den zurückliegenden 30 Jahren fielen 24 zu warm aus. Darüber hinaus traten die fünf wärmsten Jahre der 130jährigen Zeitreihe des DWD in diesem Zeitraum auf.<sup>1</sup> Und die Temperaturen steigen weiter, denn unser Klimasystem reagiert träge, die Folgen der steigenden Emissionen vergangener Jahre spüren wir erst in den kommenden Jahrzehnten.

Nur eine ambitionierte weltweite Minderung der Treibhausgasemissionen kann langfristig die Folgen des Klimawandels begrenzen. Doch selbst wenn sich die Staatengemeinschaft in den nächsten Jahren zu ambitionierten Reduktionen durchringen kann und sich die Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre stabilisiert, sind bereits durch die Emissionen der Vergangenheit unumkehrbare Auswirkungen des Klimawandels für Mensch und Umwelt zu erwarten.

Dieses Hintergrundpapier behandelt die Folgen des Klimawandels in Deutschland und zeigt auf, wie Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel einer Wirtschaftlichkeitsanalyse unterzogen werden können. Dabei wird eine erweiterte Kosten-Nutzen Analyse auf praktische Fallbeispiele angewendet. Das Papier richtet sich vorrangig an politische Entscheidungsträger in Bund, Länder und Kommunen, die selber Risiken des Klimawandels analysieren und Anpassungsmaßnahmen planen.

Ein aktueller Bericht im Auftrag der EU schätzt die jährlichen Schadenskosten durch Klimawandel europaweit auf jährlich rund 20 Milliarden EUR in den 2020er Jahren, 90 bis 150 Milliarden in den 2050er Jahren und zwischen 600 und 2.500 Milliarden EUR in den 2080ern, abhängig von der zukünftigen Entwicklung der Treibhausgasemissionen.<sup>2</sup> Ungeachtet der Unsicherheiten in solchen Schätzungen zeigen diese und andere Studien, dass Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel Schäden signifikant reduzieren können. Bei gut gewählten Maßnahmen liegt der Nutzen weit über den Kosten.

Beispielsweise schätzt die EU die durchschnittlichen Kosten der Anpassung an einen erhöhten Meeresspiegelanstieg auf 1 Milliarde EUR pro Jahr in 2020 und 1,5 Milliarden in 2050. Die Kosten der Anpassung an Hochwasser im Binnenland werden mit 1,7 Milliarden bzw. 3,4 Milliarden pro Jahr angegeben. Die Szenarien der EU gehen davon aus, dass der Nutzen - im Sinne von vermiedenen Schäden durch Meeresspiegelanstieg - von 2,5 Milliarden pro Jahr in 2020 auf 7,1 Milliarden pro Jahr in 2050 steigt. Für vermiedene Schäden aus Hochwasserereignissen im Binnenland wird der Nutzen sogar noch grösser angegeben: 8,3 Milliarden EUR in 2020 und 19 Milliarden pro Jahr in 2050.<sup>3</sup>

Dass sich frühzeitiges Handeln rechnen kann, zeigt auch eine aktuelle Studie des Umweltbundesamtes. Um Klimafolgeschäden und damit Kosten zu reduzieren, fordert das Umweltbundesamt neben der ambitionierten Reduktion von Treibhausgasen auch Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel. Auch und gerade Kommunen sollten über Anpassungskonzepte nachdenken und sie rechtzeitig vor Ort umsetzen. Angesichts knapper Kassen in den öffentlichen Haushalten rücken bei der Wahl geeigneter Maßnahmen zur Klimaanpassung Kosten-Nutzen-Überlegungen in den Mittelpunkt. Dieses Hintergrundpapier bietet dabei eine Entscheidungshilfe. Das Bundesumweltministerium fördert die Erstellung von Anpassungskonzepten zunehmend mit bis zu 14 Millionen Euro jährlich.<sup>4</sup>

## 2. AUF DEN KLIMAWANDEL VORBEREITEN, ANPASSEN NACH MASS

Anpassung an den Klimawandel umfasst prinzipiell alle Initiativen und Maßnahmen, die helfen, die Anfälligkeit gegenüber beobachteten oder erwarteten Auswirkungen der Klimaänderung zu verringern. Unterscheiden lassen sie sich in

- Technologische Maßnahmen - z.B. Bau von Deichen gegen Hochwasser oder der künstlichen Bewässerung von Ackerflächen
- Maßnahmen zur Verbesserung des Wissens – etwa durch Forschung zur möglichen Entwicklung des Klimas

- Änderung des Verhaltens – z. B. durch sparsamen Umgang mit Wasser oder auch betriebswirtschaftliche Entscheidungen wie veränderte Landbewirtschaftung oder Lagerhaltung
- Politische Maßnahmen - z.B. strengere Vorgaben zur Berücksichtigung extremer Wetterereignisse in Planungsverfahren, bei der Ausgestaltung von Infrastrukturen und der Konstruktion von Bauwerken.

Die Verantwortung für die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen verteilt sich unterschiedlich auf Bund, Länder und Kommunen. Doch auch Unternehmen sowie Bürgerinnen und Bürger sind gefragt, etwa im Schutz ihrer Häuser vor extremen Wetterereignissen. Mit der Deutschen Strategie zur Anpassung an den Klimawandel (DAS) setzt die Bundesregierung einen nationalen Rahmen, Gesellschaft und Umwelt widerstandsfähiger gegenüber Klimaänderungen und deren Folgen zu machen.<sup>6</sup>

Nach Ansicht des Umweltbundesamtes müssen die Folgen des Klimawandels auch in bestehenden Politikfeldern berücksichtigt werden. Dies erfordert die Zusammenarbeit von Bund, Ländern und Gemeinden, etwa im Küsten- und Hochwasserschutz, beim Ausbau und Erhalt von Wasserstraßen, Schienenwegen und Straßennetzen oder in der gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Union. Beispielsweise stellen Bund und Länder über die Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes“ den Küstenländern für die Durchführung zusätzlicher Maßnahmen des Küstenschutzes, die in Folge des Klimawandels erforderlich sind, schon jetzt rund 103 Mio. Euro jährlich zur Verfügung.

### 3. WIRTSCHAFTLICHKEITSUNTERSUCHUNGEN HELFEN, DIE RICHTIGEN MASSNAHMEN ZU IDENTIFIZIEREN

Länder und Gemeinden stehen vor der Frage, welche Maßnahmen sie ergreifen sollen. Wann lohnt sich Anpassung und welche Maßnahmen sind am besten geeignet, den Folgen des Klimawandels zu begegnen? Solche Abwägungen sollten durch ökonomische Analysen vorbereitet werden. Ein gängiges Instrument der ökonomischen Bewertung von Anpassungsmaßnahmen ist die Kosten-Nutzen-Analyse.

Kosten-Nutzen-Analysen sind Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen, die Kosten und Nutzen von Maßnahmen vergleichen. Derartige Analysen unterstützen die Entscheidungsfindung. Kosten und Nutzen werden in Geldeinheiten gemessen und gegenübergestellt. Eine Maßnahme gilt dann als vorteilhaft, wenn der Nutzen die Kosten überwiegt (Siehe Abbildung 1).

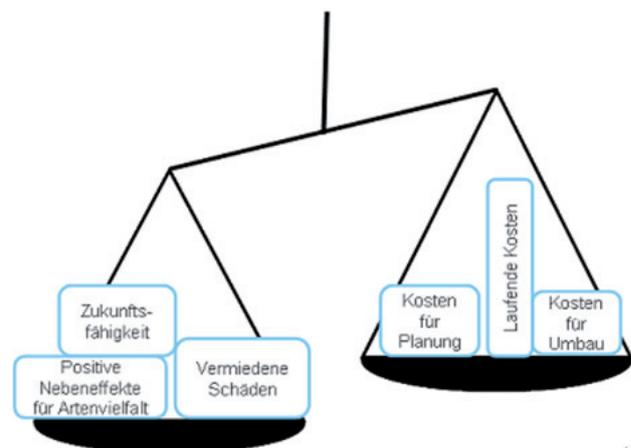


Abbildung 1: Erweiterte Kosten-Nutzen Analyse

- In der klassischen Kosten-Nutzen-Analyse wird dasjenige Vorhaben ausgewählt, welches unter Berücksichtigung direkter Kosten und Nutzen entweder das beste Gesamtergebnis (Effektivität) erbringt oder mit Blick auf die eingesetzten Mittel die beste Rentabilität (Effizienz) verspricht.
- In erweiterten Kosten-Nutzen-Analysen werden neben den direkten auch indirekte Nutzen- und Kostenkomponenten betrachtet, wie etwa Folgekosten für die Gesellschaft - sogenannte „externe Kosten“ - beispielsweise durch die Schädigung der Umwelt oder weitere Zusatznutzen z.B. durch Verbesserung der Lebensqualität der Bürgerinnen und Bürger oder den Erhalt der Artenvielfalt.

Da Informationen insbesondere zu indirekten Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen häufig nicht oder nur teilweise vorliegen, sind oft umfangreiche Recherchen bzw. Schätzungen erforderlich. Deswegen schrecken gerade Städte und Gemeinden oft vor einer solchen Methode zurück. Mit einer aktuellen Studie zeigt das Umweltbundesamt, dass erweiterte Kosten-Nutzen-Analysen trotz Unsicherheiten in der monetären Erfassung helfen können, die Wirtschaftlichkeit von Anpassungsmaßnahmen zu bewerten und damit letztlich besser fundierte Entscheidungen ermöglichen.

## 4. WAS KOSTET DIE ANPASSUNG? BEISPIELE AUS EINER AKTUELLEN STUDIE

Um Kosten-Nutzen Analysen für Anpassungsentscheidungen zu erproben und die Datenbasis z. B. für Kommunen zu verbessern, hat das Umweltbundesamt beispielhafte

Anpassungsmaßnahmen bewertet. Im Folgenden werden drei Fallstudien exemplarisch vorgestellt. Die Studie behandelt insgesamt 28 Fallstudien:

Tabelle 1: Übersicht über alle in der Studie bewerteten Maßnahmen

Handlungsfelder der Deutschen Anpassungsstrategie	In der Studie ausgewählte Maßnahmen
Verkehr	Neue Straßenbeläge/Fahrbahndecken
	Anpassung der Schieneninfrastruktur an stärkere Temperaturschwankungen und Hitze
	Wetterdienstleistungen in der Transportbranche
Raumplanung	Freihaltung von Frischluftschneisen als Instrument der Raumplanung
	Begrünung von Dächern
	Vorsorgende Raumplanung zum Schutz vor Hochwasser und Vergleich mit technischer Anpassungsoption
Finanzen	Bereitstellung neuer Versicherungsprodukte bzw. Integration neuer Risiken
	Kooperationslösung Staat und Versicherungswirtschaft
Wasserwirtschaft	Küstenschutz durch Deicherhöhung und Sandvorspülung
	Vermeidung von Abwassereinleitungen in Gewässer durch zusätzliche Regenüberlaufbecken
	Anpassung der Kläranlagenablaufqualität an die reduzierte Wasserführung von Gewässern
Bauwesen	Bauliche Veränderungen zum Schutz vor Stürmen – Starkregen und Wind
	Bauliche Veränderungen zum Schutz vor verstärkter Sonneneinstrahlung / höheren Temperaturen im Wohnungsbau
Industrie+Gewerbe	Vermeidung von hitzebedingten Produktivitätseinbußen durch Klimatisierung
	Information über Auswirkungen des Klimawandels und Anpassungsmaßnahmen
Menschliche Gesundheit	Einrichtung von Warnsystemen für Hitze
	Kühlung von Krankenhäusern
Boden	Bodenschonende konservierende Bewirtschaftungsmethoden
Biologische Vielfalt	Aufbau und Management von Naturschutzgebieten und deren Vernetzung
	Renaturierung von Auenlandschaften
Landwirtschaft	Anpassung der Bewässerung von landwirtschaftlichen Nutzflächen
	Einsatz von angepassten Pflanzensorten (tiefwurzeln, hitzeresistente Sorten)
Energie	Auslegung des Stromleitungsnetzes für Extremwetterereignisse
	Kühlung von thermischen Kraftwerken
Tourismus	Diversifikation der Angebote im Tourismus zu Sommer- bzw. Alljahrestourismus
	Erhaltung der derzeitigen Tourismusangebote über Präparierung der Pisten
Bevölkerungsschutz	Erarbeitung/Überarbeitung von Katastrophenschutzplänen (inkl. Notfall- und Evakuierungsplänen)
	Aus- und Weiterbildung von Katastrophenschutzorganisationen (Katastrophenschutzübungen)



Beispiel 1: Straßen hitzefest machen - Hitzeangepasste Beläge und Fahrbahndecken lohnen sich

Verkehrsinfrastruktur gilt insgesamt als „Kritische Infrastruktur“, da von ihrem Funktionieren viele andere wirtschaftliche und gesellschaftliche Funktionen abhängen. Von den zu erwartenden Klimaänderungen sind für die Verkehrsinfrastruktur insbesondere die Zunahme von Starkregenereignissen, starken Stürmen und Hitzetagen von Bedeutung. Die Fallstudie konzentriert sich auf zunehmende Hitzetage im Sommer. Mögliche Folgen für die Straßen sind etwa Veränderung und Ermüdung im Material, die Zunahme von Spurrinnen, Hitzeaufbrüche und eine andauernde Beanspruchung von Beton und Asphalt über die technische Auslegung hinaus. All dies kann die Funktionsfähigkeit der Straßeninfrastruktur beeinträchtigen. Es entstehen zusätzliche Gefahren, Verkehrsbehinderungen und Straßensperrungen, Unterhaltungsarbeiten werden häufiger und teurer.

Die groben Kostenschätzungen wurden beispielhaft für das Netz der Bundesautobahnen durchgeführt. Um die Kosten nicht zu hoch anzusetzen, wurden für die Analyse nur die Autobahnen in denjenigen Bundesländern berücksichtigt, in denen die Temperaturen und Hitzetage überdurchschnittlich ansteigen: Gemäß regionalem Klimaatlas der Helmholtz Gesellschaft sind dies insbesondere die fünf Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz und das Saarland. Nach grober Schätzung sind somit rund 6.600 km bzw. 52 % des deutschen Autobahnnetzes in der Fallstudie berücksichtigt.

Nach der Wegekostenrechnung für die Bundesfernstraßen in Deutschland liegen die regulären Kosten für die Erneuerung der Asphaltdecke bei einer sechsspurigen Straße im Mittel bei 0,35 Mio. € pro Kilometer. Für die Verwendung besonders hitzebeständiger Asphaltmischungen werden Mehrkosten von ca. 5-15 % gegenüber heutigem Standard-Asphalt angesetzt. Die Mehrkosten für die 6.600 km liegen somit in einer Bandbreite von 10 bis 40 Mio. € pro Jahr.

Tabelle 2: Mehrkosten durch Anpassung an den Klimawandel

	Heutiger Asphalt	Neuer Asphalt min	Neuer Asphalt max
Sanierung alle 10 Jahre (Mio. €)	2300	2400	2700
Kosten pro Jahr (Mio. €)	230	240	270
<b>Mehrkosten pro Jahr (Mio. €)</b>		10	40

Um den Nutzen hitzeresistenter Straßenbeläge grob zu bestimmen, schätzt die Fallstudie folgende Aspekte ab:

- Eingesparte Zeitverluste, da temporäre Straßensperrungen und damit zusammenhängende Umwegfahrten und Umweltkosten vermieden werden können.
- Eingesparte Unfallkosten, da zusätzliche Risiken durch Verformungen der Fahrbahndecken reduziert werden.
- Eingesparte Wartungs- und Unterhaltskosten.

Die Zeitverluste werden aus den zukünftig erwarteten Hitzetagen mit plausiblen Annahmen auf rund 60 bis 90 zusätzliche Störungen pro Jahr geschätzt. Unter Berücksichtigung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke auf den deutschen Autobahnen von 48.800 Fahrzeugen und durchschnittlichen Umwegen von 30 min ergeben sich die folgenden Zeitkosten:

Tabelle 3: Zeitkosten

	Mittlerer Wert	Max Wert
Anzahl Störungen pro Jahr	63	92
Durchschnittl. Verkehrsstärke auf Autobahnen (pro h)	48.800	48.800
Zeitverlust in h	0,5	0,5
Zeitkosten in € pro Stunde	6	6
<b>Zeitkosten gesamt (Mio. €)</b>	<b>9</b>	<b>14</b>

Für die Unfallkosten wird hier vorläufig angenommen, dass sich an jedem zweiten Hitzetag ein zusätzlicher Unfall pro 500 km Autobahn ergibt. Die Unfälle führen jeweils zu einer schweren Verletzung. Die Kosten pro schwerer Verletzung werden in der Rechnung mit 229.400 € angesetzt.<sup>7</sup>

Tabelle 4: Erwartete zusätzliche Unfälle durch Hitze

	Anzahl Hitzetage			Anzahl Unfälle	
	Mittlerer Wert	Max	km Autobahn	Mittlerer Wert	Max
Baden-Württemberg	6,4	8,6	1020	7	9
Bayern	11,2	16,1	2503	28	40
Rheinland-Pfalz, Saarland	7,7	10,3	1106	9	11
Hessen	9,8	15,9	2000	20	32
Gesamt Unfälle pro Jahr				63	92
Unfallkosten bei „schweren Verletzungen“ in Mio. €				14	21

Für die vermiedenen Reparaturarbeiten werden Erfahrungswerte aus dem Bereich der Frostschäden verwendet. Pro Kilometer werden aufgrund von Annahmen zusätzliche Reparaturkosten in Höhe von 2.000 € bis 6.000 € geschätzt. Für das betroffene Autobahnnetz ergeben sich auf dieser Basis eingesparte Reparaturkosten in Höhe von rund 13 bis 40 Mio. €.

Bei dieser sehr groben Nutzenbetrachtung mit Fokus auf Zeit- und Unfallkosten sowie die eingesparten Reparaturkosten liegen die Nutzen der Maßnahme fast immer über den Kosten.<sup>8</sup>

Tabelle 5: Kosten-Nutzen-Gegenüberstellung

In Mio. €	Kosten	Nutzen Zeit	Nutzen Unfälle	Nutzen Reparatur	Nutzen gesamt	Nutzen-Kosten Verhältnis
Min	10	9	14	13	36	Bei min. Kosten: 3,6 bis 7,5 : 1
Max	40	14	21	40	75	Bei max. Kosten: 0,9 bis 1,9 : 1

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass weitere Nutzenkomponenten nicht mit quantifiziert wurden, insbesondere, dass die Maßnahme auch ohne Klimawandel zu einer längeren Lebensdauer der Fahrbahn führt. Berücksichtigt man diesen Vorteil, würde dies noch schneller zu einem positiven Nutzen-Kosten Verhältnis führen. Gleiches gilt, wenn die Kosten eher an der unteren geschätzten Bandbreite liegen, z. B. weil über die Jahre die technischen Verfahren billiger werden. Auch könnten sich Synergien mit anderen Investitionen ergeben, z.B. dem gleichzeitigen Einbau verbesserter Drainage-Systeme zur Verhinderung von Aquaplaning, Spurrinnen und Hitzeaufbrüche verursachen auch stärkere Reifen-Fahrbahn-Geräusche. Fahrbahndecken, die auch bei höheren

Temperaturen beständig sind, dienen deshalb auch dem Lärmschutz. Es gibt hier also positive Nebeneffekte.

Das Beispiel zeigt einige wichtige Probleme von Kosten-Nutzen-Schätzungen auf. Es wird deutlich, dass eine Vielzahl von Unsicherheitsebenen vorhanden ist, die sowohl auf der Kosten- als auch auf der Nutzenseite die Quantifizierung erschweren. In der Gesamtsicht ist das Ergebnis somit nur als erste grobe Schätzung zu verstehen. Die Fallstudie bezieht sich explizit auf den Straßenbelag und die Fahrbahndecke, Oberbau genannt. Mögliche Folgen der Hitzebelastung auf den Unterbau werden nicht betrachtet. Die Bundesanstalt für Straßenwesen setzt sich in einem Forschungsprojekt detailliert mit diesen Fragen auseinander, Ergebnisse werden im Jahr 2013 erwartet.

Tabelle 6: Kosten-Nutzen Schätzung

Handlungsfeld/ Maßnahme	Nutzen (Mio. Euro /Jahr)	Kosten (Mio. Euro /Jahr)	Nutzen-Kosten-Verhältnis	Unsicherheit der Schätzung
Hitzeresistentere Straßenbeläge	36 bis 75	10 bis 40	0,9 : 1 bis 7,5 : 1	Mittel

### Fazit der Fallstudie

Der Nutzen des Einbaus hitzeresistenter Straßenbeläge übersteigt deren Kosten, insbesondere, wenn die Anpassung an den Klimawandel heute schon bei Investitionen in den Straßenbau mit berücksichtigt wird. Deshalb empfiehlt das Umweltbundesamt bei anstehenden Ertüchtigungen des Straßennetzes und Erneuerungen der Fahr-

bahndecken den Einbau hitzeresistenter Materialien, die sich auch bei Lufttemperaturen über 40°C nicht verformen. Bauvorschriften und -normen sollten entsprechend angepasst werden.

**Beispiel 2: Hochwasserschutz und Naturschutz effektiv verbinden  
- Renaturierung einer Auenlandschaft**



Die deutschen Auenwälder gehören zu den artenreichsten Ökosystemen in Mitteleuropa. Auwälder sind geprägt vom Wechsel zwischen Überflutung und Trockenzeiten. Sie stellen einzigartige Lebensgemeinschaften dar, in denen seltene Tier- und Pflanzenarten zu Hause sind. Das Einrichten von großen zusammenhängenden Auenwäldern als Schutzgebiete unterstützt Wanderungsbewegungen und die Verschiebung von Lebensräumen von Pflanzen und Tieren. Gerade in Zeiten globaler Erwärmung, in denen Artenwanderungen nach Norden und in größere Höhen beobachtet werden, sind Wanderkorridore erforderlich, um dem Verschwinden von Arten zu begegnen.

Zugleich tragen Auenwälder als natürliche Überschwemmungs- und Rückhalteräume bei Hochwasser zu einem langsamen Abfluss des Wassers bei und erfüllen somit eine wichtige Funktion um Hochwasserereignisse abzuschwächen. Sie sorgen außerdem für die Reinigung des Wassers von organischen und mineralischen Stoffen. Da durch den Klimawandel intensivere und häufigere Starkregenereignisse und Hochwasser erwartet werden, ist es von besonderer Bedeutung, dass flussnahe Ökosysteme auch zukünftig intakt sind. Ein solcher naturverträglicher Hochwasserschutz rückte nach den Hochwasserereignissen an Elbe (2002) und Oder (1997) verstärkt ins öffentliche Interesse.

Zuvor waren allerdings Auenflächen immer weiter reduziert worden, etwa für eine intensive landwirtschaftliche Nutzung, als Bauland für die Ausweitung von Siedlungen oder als Korridor für Verkehrsinfrastrukturen. Im letzten Jahrhundert wurden an allen großen Flüssen die natürlichen Überschwemmungsflächen zum Rückhalt von Hochwasser stark reduziert. Allein an der Elbe sind 80 % der Überschwemmungsflächen durch Begradigung und Deichbau verloren gegangen. Nach den letzten Hochwasserereignissen wurden zwar zahlreiche Maßnahmen zur Auenrenaturierung und zur Deichrückverlegung diskutiert und geplant, in der Umsetzung gibt es aber häufig Schwierigkeiten.

Als Fallstudie für eine Deichrückverlegung inklusive der Wiederherstellung von Überflutungsflächen wird ein aktuell diskutiertes Beispiel aus der Garbe-Niederung in Sachsen-Anhalt (nahe der Landesgrenzen zu Niedersachsen und Brandenburg) verwendet. Diese Maßnahme wurde noch nicht realisiert. Die Kosten-Nutzen Betrachtung basiert daher auf geschätzten Werten. Die Kosten für die Rückverlegung fallen zum Großteil zu Beginn der Maßnahme an. Der Nutzen, der durch einen naturschutzgerechten Verbund der beiden letzten größeren Hartholzauenwäldern in Sachsen-Anhalt begründet wird, tritt hingegen erst in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts ein.<sup>9</sup> Die größten Kostenfaktoren sind einerseits der Bau eines neuen Deichabschnitts mit 5,6 bis 7,3 Millionen Euro und andererseits der Ertragsverlust auf den landwirtschaftlichen Flächen die zusammengerechnet in heutigen Preisen rund 7,3 bis 9,2 Millionen Euro ausmachen. Die Kosten für den Abbau eines Teils der Deiche und die geringeren Unterhaltungskosten für die verbleibenden kürzeren Deiche stellen dagegen einen vergleichsweise geringen Teil der Kosten dar. Letztlich liegen die Kosten für die Renaturierung der Auenlandschaften voraussichtlich zwischen 13,7 Millionen und 18 Millionen Euro.

Doch welchen in Euro messbaren Nutzen weist die Maßnahme auf? Ein zentraler Ansatzpunkt ist die Bewertung des Artenreichtums im Ökosystem. Hier greifen die Ökonomen auf die Methode der Zahlungsbereitschaft zurück. Weiterhin wurde der Beitrag von Auen zur Reinigung des Flusswassers - etwa von Einträgen aus der Landwirtschaft - bewertet.<sup>10</sup> Um den Einfluss des Klimawandels zu verdeutlichen, wurden zwei Szenarien erstellt. Im Szenario ohne Klimawandel bleiben die Hochwasserereignisse gleich, im Szenario mit Klimawandel nehmen die Hochwasserereignisse zu. Die Kosten der Deichrückverlegung in beiden Szenarien sind gleich hoch, sie fallen bereits jetzt an. Der zukünftige Nutzen beider Szenarien ist jedoch sehr unterschiedlich: Intakte Auenwälder helfen, die Artenvielfalt auch unter geänderten Klimabedingungen zu erhalten. Diese Tatsache bewertet die Fallstudie mit einer höheren Wertschätzung der Artenvielfalt. Weiterhin werden durch die intakte Aue Hochwasserschäden in naheliegenden Dörfern und Städten vermieden.<sup>11</sup> In der Summe stehen als Nutzen zwischen 20,0 und 36,7 Millionen Euro in einem Szenario ohne sowie 29,3 bis 46,5 Millionen Euro in einem - nach Klimamodellrechnungen wahrscheinlicheren - Szenario mit verstärkten Hochwasserereignissen. Die Ergebnisse der Kosten- und Nutzenberechnungen der detaillierten Untersuchung finden sich in Tabelle 7.

Tabelle 7: Kosten und Nutzen des Fallbeispiels zur Renaturierung von Auenflächen

	Szenario ohne Klimawandel in Mio. Euro (für 2011-2100, in heutigen Preisen)	Szenario mit Klimawandel in Mio. Euro (für 2011-2100, in heutigen Preisen)
<b>Kostenerhöhung</b>		
Deichbau	5,6 - 7,3	5,6 - 7,3
Deichschlitzung	0,03 - 0,05	0,03 - 0,05
Flächenankauf	0,74 - 1,4	0,74 - 1,4
Ertragsverlust	7,33 - 9,21	7,33 - 9,21
Anpflanzung	0,01 - 0,02	0,01 - 0,02
<b>Kosteneinsparung</b>		
Kosteneinsparung bei Deich-Unterhaltskosten	-0,04 - -0,12	-0,04 - -0,12
<b>Summe aller Kostengrößen</b>	<b>13,67 - 17,86</b>	<b>13,67 - 17,86</b>
<b>Nutzen</b>		
Nährstoffretention	1,06 - 16,45	1,06 - 16,45
Wertschätzung Artenreichtum	18,39	27,58
Hochwasserschutz	0,5 - 1,85	0,65 - 2,46
<b>Summe aller Nutzenwerte</b>	<b>19,95 - 36,69</b>	<b>29,29 - 46,49</b>

Die Fallstudie zeigt, dass sich die Kosten der Renaturierung durch den erwarteten Klimawandel nicht verändern. Der Nutzen der Maßnahme steigt dagegen, wenn die Klimaänderungen mit berücksichtigt werden: Die Wertschätzung für biologische Vielfalt steigt ebenso wie

der Nutzen durch möglicherweise verhinderte Hochwasserschäden. Die Renaturierung von Auen lohnt sich mit Blick auf den Hochwasser- und Naturschutz und verbessert sich noch, wenn die Klimaänderungen mit einbezogen werden.<sup>12</sup>

Tabelle 8: Kosten-Nutzen Schätzung

Maßnahme	Nutzen (Mio. Euro / Jahr)	Kosten (Mio. Euro / Jahr)	Nutzen-Kosten-Verhältnis	Unsicherheit der Schätzung
Renaturierung von Auenlandschaften	Gesamter Zeitraum: 20 bis 46,5	Gesamter Zeitraum: 13,7 bis 18	1,1 : 1 bis 3,4 : 1	Hoch

### Fazit der Fallstudie

Die Renaturierung von Auenwäldern in Verbindung mit der Wiederherstellung von Überflutungsflächen ist eine wirksame Maßnahme, um den Hochwasser- und Biodiversitätsschutz zu verstärken. Da diese Aussage bereits ohne Klimaänderung gilt, empfiehlt das Umweltbundesamt Ländern und Kommunen, die Renaturierung von Auenwäldern zu forcieren. Durch den Klimawandel und häufigere Hochwasser verstärkt sich die Dringlichkeit hier aktiv zu werden.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Gesundheit und Wohlbefinden werden besonders in größeren Städten und Ballungsräumen zu spüren sein, da dort der sogenannte Wärmeinsel-Effekt die allgemeinen Klimawirkungen verstärkt. Der Wärmeinsel-Effekt entsteht über versiegelten Flächen wie Straßen und Gebäude, welche das Sonnenlicht absorbieren und in Form von Hitze wieder abstrahlen. Zudem behindert die Versiegelung die Speicherung von Regenwasser im Boden, das sonst bei

Hitze verdunsten könnte und große Gebäude können den Austausch frischer und kalter Luft den Städten behindern. Dadurch sind die Temperaturen in Ballungsräumen oft signifikant höher als im Umland.

Extreme Hitzebelastung gefährdet die menschliche Gesundheit. Flüssigkeitsmangel, eine Verschlimmerung verschiedener Krankheiten, Hitzekrämpfe sowie Sonnenstich und Hitzschlag können die Folge sein. Für gesunde Erwachsene gibt es in Deutschland bei normaler Lebensführung und ausreichender Flüssigkeits- und Nahrungsaufnahme auch bei längeren Hitzewellen in der Regel keine gesundheitlichen Gefahren. Hingegen können ältere Menschen und Menschen mit eingeschränkter Anpassungsfähigkeit durch Hitze in Gefahrensituationen geraten.<sup>13</sup> Die Auswirkungen wurden im Rahmen der Hitzewelle im Jahr 2003 besonders deutlich, die europaweit zu wesentlich gestiegenen Todesfällen führten. Für Deutschland werden ca. 7.000 hitzebedingte Todesfälle angegeben.<sup>14</sup>



**Beispiel 3: Begrünung von Dächern – Eine effiziente Maßnahme gegen Sommerhitze in Städten**

Grünflächen wie Parks, Gärten und Alleen haben die Fähigkeit, Niederschlagswasser zu speichern, führen über Verdunstung zu einer Verringerung der Lufttemperatur und können somit den Wärmeinsel-Effekt in Städten reduzieren. In vielen dicht besiedelten Städten besteht am Boden jedoch nur noch wenig Freiraum für Grünflächen. Dachbegrünungen stellen daher eine wichtige Option zur Schaffung weiterer innerstädtischer Grünflächen dar. Dachbegrünungen tragen zur Absorption von Sonnenenergie bei. Sie sind auf den meisten Dächern möglich, insbesondere Flachdächer können zumeist problemlos begrünt werden.

Auf lange Sicht gesehen sind Gründächer für Hausbesitzer bereits heute wirtschaftlich. Zwar sind die Baukosten höher, dafür rechnen sich Grüne Dächer über ihre längere Lebensdauer, die nach bisherigen Erkenntnissen als doppelt so hoch eingeschätzt wird wie konventionelle Dächer. Während letztere bei einer Lebensdauer der Häuser von 40 bis 50 Jahren einmal komplett saniert werden müssen, ist dies bei Grünen Dächern nicht notwendig. Der Dachwinkel beschränkt zwar die Begrünung, grundsätzlich ist dies aber bis zu einem Winkel von 35 Grad möglich. Dachbegrünungen können auch bei Bestandsbauten im Rahmen einer Dachsanierung durchgeführt werden. Grundsätzlich werden bei begrüntem Dächern schnellwachsende Pflanzen eingesetzt, so dass die Wirkung der grünen Dächer schnell einsetzt.

Sofern kommunale Gestaltungssatzungen dem nicht entgegen stehen, kann diese Maßnahme von Bauherren in Eigenregie durchgeführt werden. Grüne Dächer können aber auch durch die Kommunen finanziell gefördert oder gar bindend vorgeschrieben werden. Viele Kommunen setzen auf finanzielle Anreize, um den Gründachanteil auf ihrem Gebiet zu erhöhen. Dahinter steht neben stadtklimatologischen Überlegungen auch das Streben nach einer nachhaltigen (kostengünstigeren) Abwassertsorgung, die bei Gründächern deutlich vereinfacht wird, weil sie Regenwasser zurückhalten und somit einer Überlastung der Kanalisation vorbeugen. Zudem dienen grüne Dächer dem Klimaschutz, da sie die Dämmwirkung der Gebäudehülle verbessern.

In der Fallstudie wurden die Kosten und Nutzen finanzieller Anreize am Beispiel der Stadt Düsseldorf illustriert. In Düsseldorf gibt es aktuell ca. 730.000 m<sup>2</sup> Gründächer, was circa 3% der gesamten Dachflächen entspricht. Für die Fallstudie wird angenommen, dass der Gründachanteil auf mindestens 50% erhöht werden muss, um eine messbare kühlende Wirkung im lokalen Stadtklima zu erreichen. Das würde bedeuten, dass weiterhin circa 11,5 Mio. m<sup>2</sup> Dachfläche begrünt würden.

In dem Fallbeispiel wird eine Bandbreite für die finanzielle Förderung durch die Kommune von 29 Mio. € bis 86 Mio. € angesetzt.<sup>15</sup> Da jedes Jahr nur eine begrenzte Anzahl von Dächern saniert bzw. neue Häuser erstellt werden, wird davon ausgegangen, dass diese Fördermittel nicht in einem Jahr anfallen, sondern sich auf einen Zeitraum von 10 Jahren verteilen.

**Tabelle 9: Notwendige Fördermittel zur Erhöhung des Gründachanteils auf 50%**

	bei 5 €/m <sup>2</sup>	bei 10 €/m <sup>2</sup>	bei 15 €/m <sup>2</sup>
Finanzielle Förderung, in Mio. €	29	57	86
<b>Finanzielle Förderung pro Jahr, in Mio. €</b>	<b>2,9</b>	<b>5,7</b>	<b>8,6</b>

Auf der Nutzenseite werden die Wirkungen der grünen Dächer auf das Mikroklima der städtischen Gebiete und somit auf die Gesundheit der Einwohner betrachtet. Doch wie lassen sich die Folgen der Wärmebelastung für die menschliche Gesundheit in Zahlen fassen? Das Beispiel trifft Annahmen über die positiven Folgen der reduzierten Wärmebelastung auf die Sterblichkeitsrate. Selbst im pessimistischen Fall, dass bei stadtweiten 50% begrünter Dächer nur 5% der Einwohner von der Maßnahme profitieren, ermittelt die Beispielrechnung 8 bis 17 vermiedene Sterbefälle. Diese Zahlen werden mit einem Konzept zur Berechnung des Werts von menschlichen Lebensjahren bewertet.<sup>16</sup> Dies führt dazu, dass allein bei diesen sehr vorsichtigen Annahmen zu den positiven Folgen für die Einwohner der Nutzen mit 4 bis 8 Mio. € beziffert wird. Dabei steigt der Nutzen proportional mit den Annahmen zum Anteil der Einwohner, die von begrüntem Dächern profitieren, auf bis zu 14 Mio. €.

Tabelle 10: Kosten-Nutzen Schätzung

Handlungsfeld/ Maßnahme	Nutzen (Mio. Euro / Jahr)	Kosten (Mio. Euro / Jahr)	Nutzen-Kosten-Verhältnis	Unsicherheit der Schätzung
Gründächer (Fallbeispiel Düsseldorf)	4 bis 8	5,7	0,7 : 1 bis 1,4 : 1	Mittel

### Fazit der Fallstudie

Die Förderung von grünen Dächern kann sich bereits unter sehr vorsichtigen Annahmen zum Nutzen rechnen. Selbst bei einer großzügigen Förderquote von 15 Euro je Quadratmeter liegt der Nutzen ungefähr in der gleichen Größenordnung wie die Kosten, sofern die sozialen Folgen der Maßnahme – hier die Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit - mit herangezogen werden. Da grüne Dächer aufgrund ihrer längeren Lebensdauer auch aus privatwirtschaftlicher Sicht vielfach schon heute vorteilhaft sind und weitere Instrumente (etwa gesplittete Abwassergebühr, planerische Vorgaben) zur Forcierung der Umgestaltung eingesetzt werden können, kann

als lohnenswerter Anreiz für die Dachbegrünung bereits ein Fördersatz von 5 €/m<sup>2</sup> ausreichen.

Aufgrund der langen Lebensdauer von Dächern und der Erkenntnis, dass nicht auf allen Dächern eine Begrünung möglich ist, sollten nach Ansicht des Umweltbundesamtes Städte bereits heute den verstärkten Umbau von Dächern zu Gründächern unterstützen und im Fall von Neuplanungen oder städtebaulichen Sanierungen – falls sinnvoll und machbar – Gründächer verbindlich festsetzen.

## 5. NUTZEN – KOSTEN – ANALYSEN ZEIGEN: RECHTZEITIGE ANPASSUNG AN DEN KLIMAWANDEL LOHNT SICH

Bund, Länder und Kommunen, aber auch private Investoren stehen mehr und mehr vor der Aufgabe, die Risiken extremer Wetterereignisse und schleichender Klimaänderungen in ihren Entscheidungen zu berücksichtigen. Dabei gilt es, die richtigen Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel zu erkennen und umzusetzen. Kosten-Nutzen-Analysen, in denen die externen Kosten der ökologischen und sozialen Folgen der Maßnahmen berücksichtigt sind, liefern hierfür einen wichtigen Beitrag.

Die Begrünung von Dächern erweist sich als effektive Maßnahme gegen Sommerhitze, da sich das Stadtklima merklich verbessert. Es sollten daher verstärkt Anreize für die Dachbegrünung gesetzt werden, ein Fördersatz von 5 €/m<sup>2</sup> würde hier schon ausreichen. Nach Ansicht des Umweltbundesamtes sollten Städte bereits heute den verstärkten Umbau von Dächern zu Gründächern unterstützen und im Fall von Neuplanungen oder städtebaulichen Sanierungen – falls sinnvoll und machbar – Gründächer verbindlich festsetzen.

Die Verwendung hitzeresistenter Straßenbeläge verhindert Schäden an der Fahrbahn und kann so Staus und Unfälle reduzieren. Die Fallstudie zeigt, dass der Nutzen solcher besonderen Straßenbeläge die Kosten übersteigt. Deshalb empfiehlt das Umweltbundesamt bei anstehenden Ertüchtigungen des Straßennetzes und Erneuerungen der Fahrbahndecken den Einbau hitzeresistenter Materialien, die sich auch bei Lufttemperaturen über 40°C nicht verformen. Bauvorschriften und -normen sollten entsprechend angepasst werden.

Die vorgestellten Fallstudien zeigen die Anwendung von Kosten-Nutzen Analysen in Sachen Klimawandel. Entscheidungsträger in Ländern und Kommunen bekommen mit der Studie des UBA eine praktische Handlungsanleitung an die Hand. Natürlich müssen die Daten an die individuellen Bedürfnisse vor Ort angepasst werden. Das UBA zeigt, dass die Berücksichtigung ökologischer und sozialer Belange in der Praxis machbar ist und in der Folge zumeist das Kosten-Nutzen-Verhältnis von Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel positiver ausfallen lässt.

Die Renaturierung der Auenlandschaften zahlt sich für den Hochwasserschutz aus und stärkt gleichzeitig die Artenvielfalt. Die Fallstudie zeigt, dass der Klimawandel und die erwarteten häufigeren Hochwasser an deutschen Flüssen die Wirtschaftlichkeit solcher Maßnahmen noch steigern. Das Umweltbundesamt empfiehlt daher Ländern und Kommunen, die Renaturierung von Auwäldern stärker zu forcieren.

Effiziente Anpassungsmaßnahmen erfordern nicht unbedingt umfangreiche Investitionen technischer Art. Gerade vorsorgende Maßnahmen der Raum- und Stadtplanung sowie im Gesundheits- und Bevölkerungsschutz weisen in der Studie oft positive Kosten-Nutzen-Verhältnisse auf. Daher sollten Bund, Länder und Kommunen den Klimawandel bereits heute in Planungsprozessen und Ertüchtigungsmaßnahmen berücksichtigen.

## WEITERFÜHRENDE VERÖFFENTLICHUNGEN

Bundesregierung: Deutsche Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin  
2008. <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/42783.php>

Bundesregierung: Aktionsplan Anpassung zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Berlin  
2011. <http://www.bmu.de/klimaschutz/downloads/doc/47641.php>

Umweltbundesamt: „Ökonomische Bewertung von Umweltschäden, Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten“. Dessau  
2007. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3193.pdf>

Umweltbundesamt: „Ökonomische Aspekte der Anpassung an den Klimawandel. Literaturlauswertung zu Kosten und Nutzen von Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel“ Umweltbundesamt Climate Change Reihe Nr. 19/2011. Dessau 2011.  
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/4185.pdf>

Webseite: Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung im Umweltbundesamt (KomPass): <http://www.anpassung.net>

<sup>1</sup> Siehe <http://www.dwd.de/klimawandel>

<sup>2</sup> EU-Forschungsprojekt Climate Cost : <http://www.climatecost.com>

<sup>3</sup> ebenda

<sup>4</sup> Abhängig vom Zertifikatspreis aus dem Emissionshandel, Förderprogramm unter [http://www.bmu.de/foerderprogramme/anpassung\\_an\\_die\\_folgen\\_des\\_klimawandels/doc/47882.php](http://www.bmu.de/foerderprogramme/anpassung_an_die_folgen_des_klimawandels/doc/47882.php) und [http://www.bmu-klimaschutzinitiative.de/de/projekte\\_nki](http://www.bmu-klimaschutzinitiative.de/de/projekte_nki)

<sup>5</sup> Online auf der Webseite des Kompetenzzentrums Klimafolgen und Anpassung im Umweltbundesamt

<sup>6</sup> Siehe [http://www.bmu.de/klimaschutz/anpassung\\_an\\_den\\_klimawandel/doc/42781.php](http://www.bmu.de/klimaschutz/anpassung_an_den_klimawandel/doc/42781.php)

<sup>7</sup> Quelle: EU Handbuch zu externen Kosten im Verkehr, aus Projekt HEATCO.

<sup>8</sup> Nur falls die minimale Nutzenschätzung mit der oberen Bandbreite der Kosten kombiniert wird, ergibt sich ein negatives Nutzen-Kosten Verhältnis.

<sup>9</sup> Die Fallstudie rechnet Kosten und Nutzen, die erst in den nächsten Jahren und Jahrzehnten anfallen in heutige Preise um. Unter Berücksichtigung von Preisentwicklung und Inflation sind die heutigen Preise niedriger angesetzt als sie später voraussichtlich sein werden. Nach der UBA-Methodenkonvention wird für diese sogenannte Abdiskontierung ein Zinssatz von jährlich 3 % angesetzt.

<sup>10</sup> Die Wertschätzung des Artenreichtums wurde mit der Methode der Zahlungsbereitschaft bewertet. Hier liegen Befragungen der Bevölkerung zugrunde, in welcher Höhe sie sich an Maßnahmen zu Schutz

der biologischen Vielfalt beteiligen würden. Der Nutzen der Nährstoffretention wurde mit der Ersatzkostenmethode angesetzt, d.h. der Nutzen wird geschätzt anhand der Kosten für alternative Verfahren, welche dieselbe Leistung (hier: Minderung der Nährstoffkonzentration) erbringen. Die Wissenschaft liefert hierzu unterschiedliche Einschätzungen. Um dem gerecht zu werden, wird im Beispiel eine große Bandbreite an Werten verwendet. Genauere Angaben enthält die zugrundeliegende Studie, siehe Verweise am Ende.

<sup>11</sup> Das Beispiel schätzt die vermiedenen Schäden in der nahegelegenen Stadt Wittenberge.

<sup>12</sup> Tatsächlich fallen weitere Nutzen der Maßnahme an, die in diesem Beispiel nicht quantifiziert wurden, z.B. der Erholungswert eines vitalen Auenwaldes oder die vermiedenen Hochwasserschäden in anderen Städte und Dörfern an der Elbe.

<sup>13</sup> Vgl. UBA-Ratgeber Klimawandel und Gesundheit, Informationen zu gesundheitlichen Auswirkungen sommerlicher Hitze und Hitzewellen und Tipps zum vorbeugenden Gesundheitsschutz unter <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3519.pdf>

<sup>14</sup> Vgl. Klimawandel und Gesundheit: Informations- und Überwachungssysteme in Deutschland unter <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3816.pdf>

<sup>15</sup> Bei einem Fördersatz von 5 €/m<sup>2</sup> bis 15 €/m<sup>2</sup>. Angaben beruhen auf Literatur sowie der bisherigen Förderung in der Stadt Düsseldorf.

<sup>16</sup> Hier wird die Methode „Value of life years lost“ verwendet. Dieser Ansatz versucht, die verlorene Lebenszeit eines Menschen angemessen zu bewerten. Details sind in der Studie dargelegt.

