

UPM 12 – Praxisprojekt

im Masterstudiengang Urbanes Baum- und
Waldmanagement

Thema

Inwertsetzung der Ökosystemleistungen von
Wäldern am Beispiel der Stadt Wuppertal

Vorgelegt von Sarah Eleonore Pilz

Am 04.01.2021

Dozent/in Prof. Dr. Volker Dubbel

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Einsatzstelle	2
3. Methodik.....	4
4. Ergebnisse.....	5
4.1. Holzerlös	5
4.2. Luft.....	6
4.2.1. CO ₂ Senkenleistung	6
4.2.2. O ₂ Produktion	8
4.2.3. Staubfilterleistung	9
4.3. Wasser	10
4.3.1. Nitratfilterleistung	10
4.3.2. Retention.....	13
4.3.3. Erosionsschutz	14
4.4. Lärmschutz	15
4.5. Siedlungswertsteigerung	17
4.6. Erholungswert	18
4.7. Biologische Artenvielfalt	20
4.8. Sonstiges	22
4.8.1. Gesundheit	22
4.8.2. Wildbret	24
4.8.3. Verkehrssicherheit.....	24
5. Gesamtkalkulation	26
6. Schlussfolgerung und Ausblick	29
7. Zusammenfassung.....	30
Literaturverzeichnis	31
Anhang.....	I

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnung des Holzerlöses der Stadt Wuppertal und der Forstbetriebsgemeinschaft.....	5
Tabelle 2: Berechnung der CO ₂ Senkenleistung, verändert nach PAUL (2020).....	7
Tabelle 3: Berechnung der Sauerstoffproduktion, verändert nach WISSENBERG (2019).....	8
Tabelle 4: Berechnung der Staubfilterleistung, verändert nach SIEBERTH (2014)	10
Tabelle 5: Berechnung der Korrektur des Niederschlags nach PAUL (2020).....	12
Tabelle 6: Inwertsetzung der Nitratfilterleistung.....	13
Tabelle 7: Berechnung der Retentionsleistung.....	13
Tabelle 8: Berechnung der Erosionsschutzleistung.....	14
Tabelle 9: Berechnung der Lärmschutzleistung verändert nach PAUL (2020).....	17
Tabelle 10: Berechnung des Wertes von Wald mit Wirkung auf den Siedlungswert.....	18
Tabelle 11: Berechnung der Erholungswerte, verändert nach PAUL (2020).....	20
Tabelle 12: Berechnung der Artenschutz- und Biodiversitätsleistung, verändert nach WISSENBERG (2019).....	22
Tabelle 13: Berechnung der verkehrssicherungspflichtigen Flächen.....	25
Tabelle 14: Gesamtkalkulation inwertgesetzter ÖSL der Stadt Wuppertal.....	27
Tabelle 15: Gesamtkalkulation der inwertgesetzten ÖSL der FBG.....	28

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ansatz des MEA (2005) zu Ökosystemleistungen und ihrer Bedeutung für das menschliche Wohlergehen.....	2
Abbildung 2. Eigene Darstellung der Waldflächen mit ArcGIS (aufgeschlüsselt nach Besitzverhältnissen).....	3
Abbildung 3: Eigene Darstellung der Lärmschutzfunktion eines Waldareals um die Autobahn 1 mittels ArcGIS.....	15

Abkürzungsverzeichnis

aLh	Anderes Laubholz mit hoher Umtriebszeit
aLn	Anderes Laubholz mit niedriger Umtriebszeit
BA	Baumart
CVM	Contingent Valuation Method
Efm	Erntefestmeter
FBG	Forstbetriebsgemeinschaft
LH	Laubholz
NH	Nadelholz
ÖSL	Ökosystemleistung
TCM	Travel Cost Method

1. Einleitung

Während die Forstwirtschaft durch den Klimawandel vor neuen Herausforderungen steht, gewinnen die vielfältigen ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Waldfunktionen an neuer Bedeutung. Insbesondere in einem bevölkerungsreichen Bundesland wie Nordrhein-Westfalen muss die enorme Bedeutsamkeit der Waldflächen neu betrachtet werden. Holzeinnahmen stellen eine der wenigen sogenannten „Ökosystemleistungen“ (im Folgenden ÖSL abgekürzt) dar, welche den Waldbesitzenden durch den Verkauf des Holzes bisher tatsächlich vergütet wird. Obwohl einige dieser Leistungen eine Grundlage für die Existenz der menschlichen Gesellschaft darstellen, werden sie erst auf den zweiten Blick offensichtlich. In der vorliegenden Arbeit werden weitere Nutzen betrachtet, welche die Waldflächen gegenüber dem Menschen erbringen, jedoch keine ökonomische Bedeutung zugesprochen sowie wenig Aufmerksamkeit entgegengebracht bekommen.

Nach Definition des „Millennium Ecosystem Assessment“ stellen ÖSL den Nutzen dar, welchen die Menschheit aus einem Ökosystem zieht (MEA 2005). Hier werden sie eingeteilt in die drei Bereiche der „Versorgungsleistungen“, „Regulierungsleistungen“ und die „Kulturellen Leistungen“, welche einen direkten Einfluss auf das menschliche Wohlbefinden ausüben, sowie die „Basisleistungen“, welche in einem engen Zusammenhang zu ihnen stehen und die Grundlage für alle weiteren Leistungen darstellen. Sie können sowohl einen direkten als auch einen indirekten Einfluss auf den Menschen haben und prägen sich auf unterschiedliche Bestandteile des menschlichen Wohlergehens aus (vgl. Abb.1).

Ziel dieser Arbeit ist es, einen monetären Wert für bestimmte Ökosystemleistungen für die Waldflächen der Stadt Wuppertal sowie der von ihr betreuten Forstbetriebsgemeinschaft Wuppertal zu berechnen. Es soll ein Bewusstsein für die Forstwirtschaft als unentgeltlicher Bereitsteller geschaffen werden. Dies erleichtert einen Einbezug der ÖSL in öffentliche Entscheidungsprozesse, indem sie sich für die Verantwortlichen nicht mehr als zu abstrakt darstellen, sondern konkreter fassbar werden. Auf eine Berücksichtigung der Ökosystemleistungen der Natur in der Politik sowie in der Forstwirtschaft werden wesentliche positive Entwicklungen folgen. Aufgrund dessen dient eine monetäre Abschätzung der ÖSL der Annäherung an Natur-, Umwelt- und Nachhaltigkeitsziele (TEEB DE 2016).

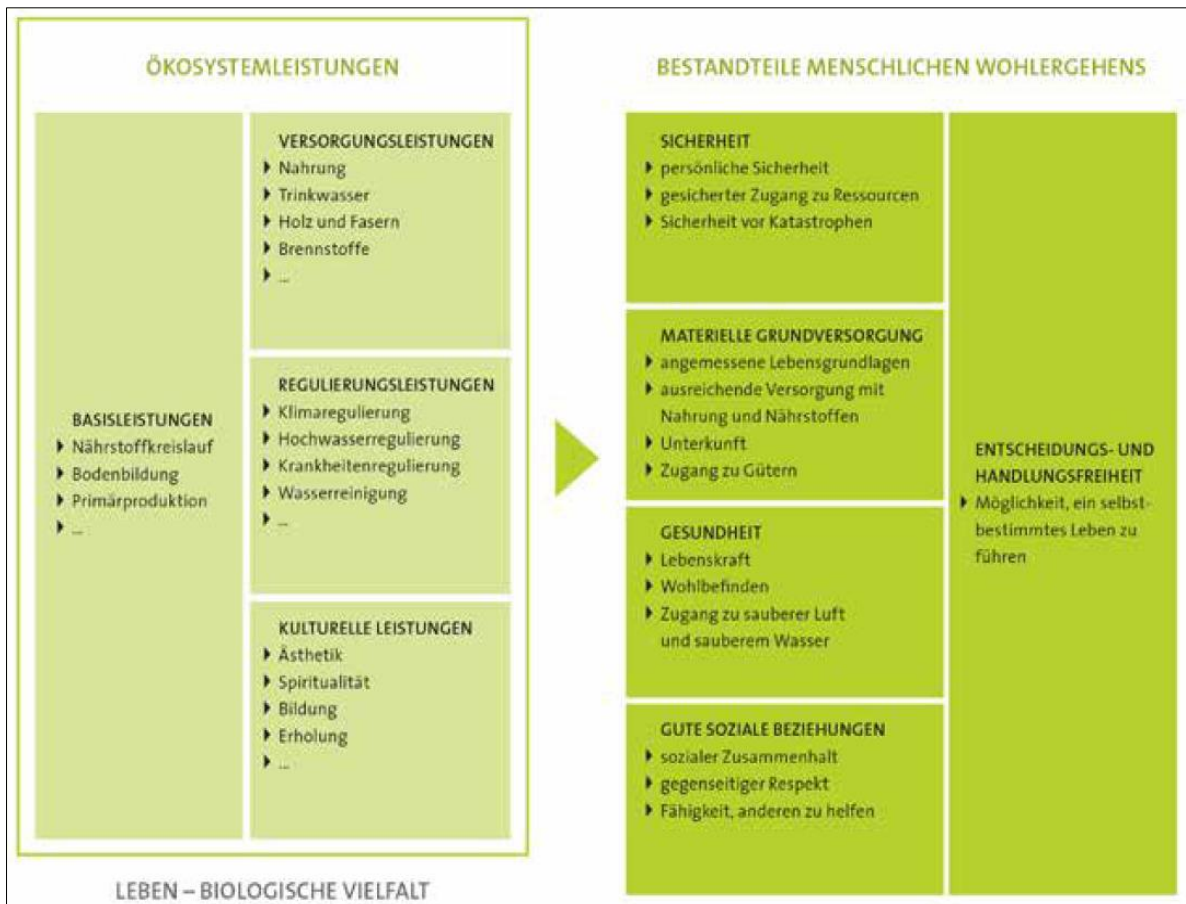


Abbildung 1: Ansatz des „MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSEMENT [MEA]“ (2005) zu Ökosystemleistungen und ihrer Bedeutung für das menschliche Wohlergehen (Quelle: TEEB DE 2016, S. 25 übersetzt und verändert nach MEA 2005 und BFN 2012)

2. Einsatzstelle

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Praxisprojektes im Masterstudiengang „Urbanes Baum- und Waldmanagement“ mit der Thematik der Inwertsetzung von Ökosystemleistungen für die Abteilung Forsten/Waldbewirtschaftung der Stadt Wuppertal erstellt. Bei einer Gesamtfläche von 168,4 km² ist Wuppertal zu 28,80% mit Wald bedeckt, liegt also über dem landesweiten Durchschnitt von 27% Waldanteil (LWI 2014). Als Großstadt mit 362.174 Einwohnern (STADT WUPPERTAL 2020) in der Metropolregion des Rhein-Ruhrgebiets stellt Wuppertal die bevölkerungsreichste Stadt des bergischen Städtedreiecks dar. Die Ermittlung der Daten erfolgte im Rahmen dieser Studienarbeit in der Abteilung Forsten/Waldbewirtschaftung (103.4) der Stadt Wuppertal. Diese betreut zusätzlich die Wuppertaler Forstbetriebsgemeinschaft (FBG) in Organisation und Planung forstlicher Maßnahmen (STADT WUPPERTAL 2020c).

2.1. Geographische Lage

Die Stadt Wuppertal erstreckt sich beidseitig entlang der Wupper im bergischen Land. Begrenzt wird sie durch die Städte Remscheid und Solingen, mit welchen sie die Städtereion des bergischen Städtedreiecks bildet. Zwar existieren vor allem im öst- und südlichen Stadtrand größere zusammenhängende Waldkomplexe, jedoch ist die inselartige Auflösung der Waldgebiete, welche durch das Stadtforstamt verwaltet werden, bemerkenswert. Dies stellt einen hohen Verwaltungsaufwand für die betreuenden Förster dar. In der Darstellung der Waldflächen der Stadt Wuppertal sowie der FBG (Abb.2) ist die kleinflächige Waldinselbildung deutlich erkennbar.

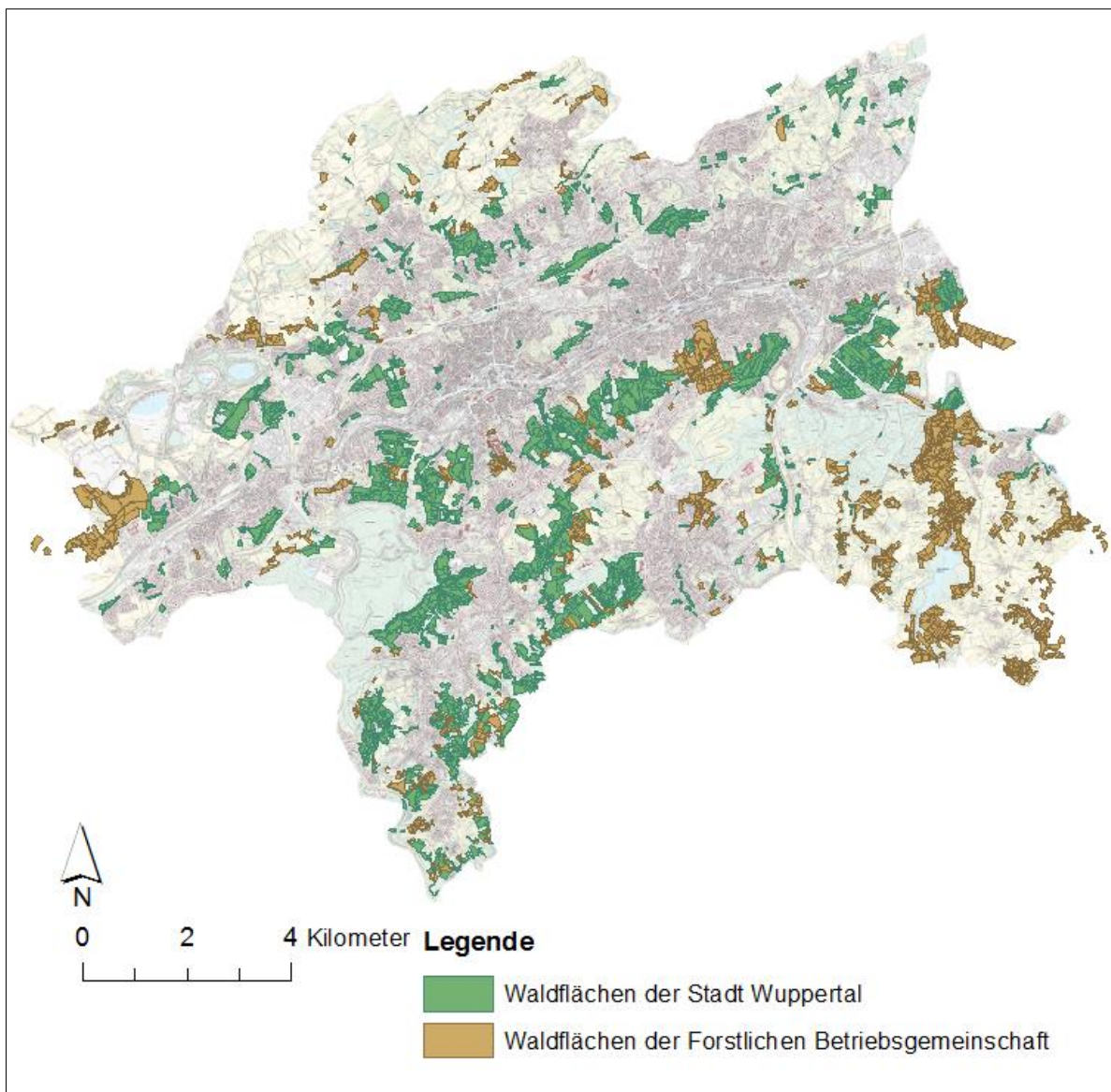


Abbildung 2. Eigene Darstellung der Waldflächen mit ArcGIS (aufgeschlüsselt nach Besitzverhältnissen)

Ein weiteres Merkmal der exponierten Lage im Ballungsraum des bergischen Landes ist das stark ausgebaute Verkehrsnetz. Durchschnittlich wird das Gebiet von

verschiedenen Autobahnen (A1 im Osten, A46 im Norden sowie Anschluss an die A3 im Westen) sowie Bundesstraßen. Dies hat zur Folge, dass eine bemerkbare Belastung durch beispielsweise Lärm sowie Schadstoffeintrag für sowohl die Bevölkerung als auch die Waldgebiete entsteht.

2.2. Eingliederung in die Wuchsbezirke

Zum forstlichen Wuchsbezirk „Bergisches Land“ gehörig teilen sich Wuppertals Waldflächen in die Wuchsbezirke der „Bergischen Randschwelle“ und das „Niederbergisches Hügelland“ ein, welche dann langsam in den Wuchsbezirk der „bergischen Hochflächen“ ansteigen. Das Gesamtgebiet nimmt Höhenlagen zwischen 100m und 350m ü. NN ein und ist gekennzeichnet durch viele Bachtälchen, welche die Hänge zerschneiden und das Wasser größerer Bäche in die Wupper leiten. Der gesamte Wald liegt im Bereich der kollinen bis submontanen Höhenstufe (BETRIEBSWERK STADT WUPPERTAL 2013).

3. Methodik

Vor Beginn der Datenerfassung erfolgte eine intensive Literaturrecherche. Hierbei wurde ermittelt, welche ÖSL für eine Monetarisierung in Betracht gezogen werden können.

In Absprache mit dem Leiter der Abteilung Forsten der Stadt Wuppertal, Herrn Rabe, sind die wesentlichen Hauptziele sowie Berechnungskriterien festgelegt worden. Leistungen, denen zu derzeitigem Wissenstand kein monetärer Wert errechnet werden kann, werden aufgrund ihrer Relevanz dennoch verbal beschrieben. Ebenfalls wurde entschlossen, die Berechnung sowohl für die Flächen der Stadt Wuppertal als auch für die in ihrer Betreuung stehenden Flächen der Forstbetriebsgemeinschaft (FBG) durchzuführen und separat darzustellen. Somit ist anzumerken, dass im Rahmen dieser Arbeit rund 2825 Hektar der 4850 Hektar Waldflächen auf Wuppertaler Stadtgebiet einbezogen und der Wert dieser bestmöglich berechnet wird, er jedoch bloß einen Teil der auf Wuppertaler Fläche befindlichen Waldflächen repräsentiert (STADT WUPPERTAL 2020D).

Im Vorfeld wurden die Studien von SIEBERTH (2014), WISSENBERG (2019) sowie PAUL (2020) verglichen. Zur Berechnung der ÖSL wurde sich an deren Recherchen und Methodik angelehnt oder erweiterte Daten erfasst. Es wurde berücksichtigt, eine Vergleichbarkeit zu den voran genannten Studien zu entwickeln. Daher werden alle Ergebnisse in der Gesamtkalkulation auch in Euro je Hektar und Jahr angegeben. Weiterführend wurden zur Durchführung der Inwertsetzung die Flächendaten der Wälder der FBG sowie der Stadt Wuppertal recherchiert. Hierzu wurden die jeweiligen Forsteinrichtungen herangezogen und dort nicht weiter aufgeführte Daten an anderer Stelle erhoben.

4. Ergebnisse

Im Folgenden werden die erhobenen Daten dargestellt. Der Aufbau dieser Arbeit orientiert sich an den vier Kategorien der Ökosystemleistungen (vgl. Kapitel 1). Im Rahmen dieser Arbeit können die sogenannten Basisleistungen, wie beispielsweise die Bodenbildung, aufgrund der Komplexität jedoch keinem monetären Wert zugeordnet werden. Da sie jedoch als Grundlage für alle weiteren Leistungen angesehen werden können, ist die Bedeutung dennoch immens.

4.1. Holzerlös

Die Versorgungsleistung der Holzproduktion stellt eine der wenigen tatsächlich monetär bewertbaren und vergüteten Leistungen des Waldes dar. Die Wertschätzung für die Holznutzung steht bei urbaner Bevölkerung jedoch weit hinter den sozialen und ökologischen Leistungen des Waldes (KLEINHÜCKELKOTTEN und WIPPERMANN 2006). Das Augenmerk der Bewirtschaftung in einem urbanen Gebiet wie dem der Stadt Wuppertal liegt dementsprechend nicht auf einem höchstmöglichen Ertrag, sondern darin, den vielfältigen Anforderungen der Bevölkerung zu entsprechen. Dennoch hat die nachhaltige, naturnahe Holzwirtschaft bzw. Bewirtschaftung des Waldes eine große Bedeutung für weitere Ökosystemleistungen. So wird beispielsweise ein positiver Einfluss auf die Trinkwasserqualität und den Artenschutz ausgeübt (vgl. Kapitel 4.3.1 und 4.7).

Für die Berechnung wurden die Holzverkaufsdaten der Jahre 2017-2019 herangezogen. Bezogen auf die Gesamtwaldfläche von 1761,03 ha der Stadt Wuppertal sowie der 1065 ha der FBG ergaben sich durchschnittliche Holzerlöse von 108,34 €/ha/Jahr für die Stadt Wuppertal sowie 33,84 €/ha/Jahr für die Forstbetriebsgemeinschaft (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Berechnung des Holzerlöses der Stadt Wuppertal und der Forstbetriebsgemeinschaft

Eigentümer	Ø holzernte-kostenfreier Erlös [€/a]	Fläche [ha]	Ø Nutzung 2017-2019 [Efm o.R.]	Ø Erlös [€/Efm o.R.]	Ergebnis [€/ha/a]	Quelle
Stadt Wuppertal	190.785,52	1.761,03	4655,00	40,99	108,34	(STADT WUPPERTAL 2020b)
FBG	36.040,41	1065,00	960,70	37,51	33,84	(FRISCHE 2020)

4.2. Luft

Wälder tragen durch die Filterung von Stäuben und Treibhausgasen wie Kohlenstoffdioxid (im folgenden CO_2) aus der Luft sowie der Produktion von lebenswichtigem Sauerstoff zum Überleben der Menschen bei. Zusätzlich wirken sie hiermit dem Klimawandel aktiv entgegen. Im Folgenden wird auf diese Regulierungsleistungen des Waldes eingegangen.

4.2.1. CO_2 Senkenleistung

Hinsichtlich des Klimas und dessen aktuellen Veränderungen durch den Klimawandel nimmt Wald eine besondere Stellung ein. Nicht nur hat er durch Luftbefeuchtung Einfluss auf Wind und kleinklimatische Verhältnisse, auch kann er als Kohlenstoffspeicher dem steigenden Kohlenstoffdioxid (CO_2) Gehalt in der Atmosphäre entgegenwirken (BURSCHEL und WEBER 2001). Diesem Treibhausgas wird eine besondere Rolle in der Antreibung des Klimawandels beigemessen (IPCC 2007). Es ist eins der am häufigsten auftretenden Treibhausgase und hat dementsprechenden Einfluss auf den Klimawandel. Die Vermeidung bzw. Speicherung von Kohlenstoff (C) ist daher ein hochaktuelles, politisches Thema (WÖRDEHOFF 2016).

Bäume benötigen für den Biomasseaufbau im Zuge der Photosynthese Kohlenstoff (C). Diesen erhalten sie durch die Aufnahme von Kohlenstoffdioxid (CO_2) aus der Luft. Der Sauerstoff (O_2) wird als Abfallprodukt wieder freigesetzt. Dennoch wird meist von der CO_2 -Bindung gesprochen, da es von größtem Interesse ist, wie viel CO_2 der Atmosphäre durch das Baumwachstum entzogen wird.

Nach der Kohlenstoffinventur des Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aus dem Jahr 2017 wird die Atmosphäre durch den Wald jährlich um 62 Mio. Tonnen CO_2 entlastet. Dies bedeutet eine Kompensation von rund 7% der jährlichen deutschen Emissionen (JOHANN HEINRICH VON THÜNEN-INSTITUT 2019). Wälder tragen demnach einen wichtigen und absolut kostenfreien Beitrag zur CO_2 -Senkung in der Atmosphäre bei.

Für die Berechnung der Senkenleistung des Waldes wurden anfänglich die von PAUL (2020) recherchierten und gemittelten Werte vom Frisch- sowie Darrgewicht je Festmeter (fm) der Baumarten (BA) herangezogen. In Anlehnung an die Berechnungen durch PAUL (2020) wurde daraufhin die Differenz der beiden Werte ermittelt. Diese Differenz bildet den Faktor, mit dem anschließend die aus der Forsteinrichtung entnommenen laufenden Zuwächse/ha/a jeder Baumart multipliziert wurden. Dies ist begründet mit der Tatsache, dass sich die Literaturwerte im Gegensatz zu denen aus der Forsteinrichtung auf darrtrockenes Holz beziehen. Es kann davon ausgegangen werden, dass 1 fm

darrtrockenes Holz zu 50% aus Kohlenstoff besteht (DIESTEL und WEIMAR 2014; LOHMANN 2012). Somit wird das zuvor berechnete Produkt des laufenden Zuwachses/ha/a mit dem Faktor 0,5 multipliziert. Der hiermit errechnete Wert stellt die „Tonne Kohlenstoff“ dar, welche mithilfe des Atommasseverhältnisses von Kohlenstoff zu Kohlenstoffdioxid (1:3,67) umgerechnet wurde (WÖRDEHOFF 2016). Somit wurde die gebundene Menge CO₂/ha/BA ermittelt (vgl. Anhang, Tabelle XII und Tab. XIII). Der Grund für die Umrechnung von Kohlenstoff zu seinem CO₂-Äquivalent liegt darin, dass sich bei Klimaschutzfragen sowie der Berechnung mittels des Börsenhandelspreis für CO₂ Zertifikate nicht auf den reinen Kohlenstoff, sondern auf den CO₂ Entzug aus der Luft bezogen wird.

Durch die Borkenkäferkalamität sind die Flächengrößen der Fichte aus den Forsteinrichtungen nicht mehr als aktuell anzusehen. Schätzungsweise stehen nur noch 40% der dort angegebenen Flächen, weshalb die Berechnung dementsprechend unter Einbezug verminderter Werte geschieht (RABE 2020A). Jedoch ist an dieser Stelle anzumerken, dass in Zukunft auf den jetzigen Kalamitätsflächen wieder ein junger Bestand stehen wird. Dieser wird mit seinen Zuwächsen wieder zu der CO₂-Senkenleistung der Wälder beitragen.

Aufgrund des Umfangs der Berechnungen wird sich innerhalb dieser Arbeit auf den Kohlenstoffspeicher der oberirdischen Holzmasse beschränkt. Die Speicher- und Senkenleistung der Wurzeln sowie des Waldbodens wird nicht mit einbezogen.

Zur monetären Inwertsetzung der CO₂-Senkenleistung der Bäume wird angelehnt an PAUL (2020) der Börsenhandelspreis für CO₂-Zertifikate verwendet. Diese betragen zum Stichtag 14.12.2020 ganze 30,81 €/t (EUROPEAN ENERGY EXCHANGE AG 2020). Der Durchschnitt der Senkenleistung aller BA (t/ha/a) wurde mit diesem Wert verrechnet und auf die Gesamtwaldfläche bezogen. Somit ergaben sich Werte für die CO₂-Adsorptionsleistung des Waldes in Höhe rund 320.500 €/a für die Stadt Wuppertal sowie 166.959 €/a für die FBG (vgl. Anhang, Tabelle XII und Tab. XIII). Auf die Gesamtwaldfläche umgelegt ergeben sich hieraus rund 182 €/ha/a für jeden städtischen Hektar sowie 156 €/ha/a für die FBG.

Tabelle 2: Berechnung der CO₂ Senkenleistung, verändert nach PAUL (2020)

Besitzverhältnis	Preis CO ₂ Zertifikat [€/t]	Mittelwert der Senkenleistung [t/ha/a]	Fläche [ha]	Ergebnis [€/a]	Ergebnis [€/ha/a]	Quelle
Stadt Wuppertal	30,81	7,17	1450,04	320.499,45	181,99	European Energy Exchange AG (2020)
FBG	30,81	6,09	889,41	166.959,82	156,76	

4.2.2. O₂ Produktion

Im Zuge der Photosynthese entziehen Bäume der Atmosphäre Kohlenstoffdioxid, wandeln es unter Einfluss von Wasser in Glukose um und geben lebensnotwendigen Sauerstoff als Abfallprodukt in die Luft ab. Um für diesen einen monetären Wert errechnen zu können wird vorerst die Photosynthesegleichung unter Einbezug der in Kapitel 4.2.1 ermittelten adsorbierten CO₂-Mengen von 7,17 t/ha/a für die Stadt Wuppertal sowie 6,09 t/ha/a für die FBG stöchiometrisch umgeformt. Auf diesen Wert wird der Umrechnungsfaktor 1,337 kg/m³ angewandt, da Sauerstoff in Kubikmeter gehandelt wird (SIEBERTH 2014).

Für die Bewertung dieser ÖSL wird die technische Produktion von Sauerstoff herangezogen. Hierbei bleibt zu erwähnen, dass die am häufigsten verwendete Methode der Rektifikation von Luft voraussetzt, dass bereits Sauerstoff in der Luft vorhanden ist (SATTLER 2001; WISENBERG 2019).

Unter Bezugnahme auf den geringsten von SIEBERTH (2014) ermittelten Preis für die Herstellung von Sauerstoff von 0,15€/m³ wird ein Wert von 848.528,81 €/a für die Stadt Wuppertal und 442.028,12 €/a für die FBG errechnet. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 veranschaulicht.

Tabelle 3: Berechnung der Sauerstoffproduktion, verändert nach WISENBERG (2019)

Besitzverhältnis	CO ₂ -Senkenleistung [kg/ha/a]	O ₂ -Produktion [kg/ha/a]	Umrechnungsfaktor auf Kubikmeter [m ³]	O ₂ -Produktion [m ³ /ha/a]	
Stadt Wuppertal	7.173,90	5.215,87	1,337	3.901,17	
FBG	6.092,80	4.429,84		3.313,27	
Besitzverhältnis	Gesamwaldfläche (Holzboden) [ha]	O ₂ -Produktion [m ³ /ha/a]	Preis [€]	Ergebnis [€/ha/Jahr]	Ergebnis [€/Jahr]
Stadt Wuppertal	1450,04	3,901,17	0,15	481,84	848.528,81
FBG	889,41	3.313,27		415,05	442.028,12

4.2.3. Staubfilterleistung

Luftverschmutzung ist nach dem Konsum von Tabak die zweithäufigste Todesursache aufgrund nicht übertragbarer Krankheiten weltweit. Der Gehalt von Feinstaubpartikeln in der Luft wird als krebserregend eingestuft und kann erhebliche Folgen für die Gesundheit haben (WELTGESUNDHEITSORGANISATION 2020). Feinstaub, Stickoxid sowie bodennahes Ozon werden hierbei als am gesundheitsschädlichsten eingestuft. Etwa 90% der europäischen Stadtbewohner sind jedoch trotzdem einer Schadstoffkonzentration in der Luft ausgesetzt, welche über den als gesundheitsgefährdend geltenden Werten liegen. Quellen dieser Luftverschmutzung sind beispielsweise industrielle Prozesse und die Verbrennung fossiler Rohstoffe im Rahmen der Stromerzeugung, der Industrie und des Verkehrs (EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR 2017).

Von Blättern und Nadeln können erhebliche Mengen Staubpartikel sowie gasförmige Schadstoffe aus der Luft teilweise direkt aufgenommen werden. Somit kann durch die große Oberfläche der Baumkronen eine wichtige Funktion in urbanen Räumen geleistet werden, indem die Luftverschmutzung herabgesenkt wird (BUWAL 2005B). Ebenfalls können sie durch Beeinflussung der Windgeschwindigkeit sowie Windturbulenzen eine indirekte Wirkung auf die lokale Schadstoffkonzentration haben.

Nach BADE ET AL. 2008 nimmt ein Baum schätzungsweise 100 g Feinstaub je Jahr auf. Der von ihnen ermittelte wirtschaftliche Wert beträgt ausgehend von den Kosten für die Reduzierung von Feinstaubemissionen 2 €/Waldbaum/a (BADE ET AL. 2008).

Um nun den Wert der Staubfilterleistung des Waldes auf einen Hektar berechnen zu können wird sich in Anlehnung an PAUL (2020) auf die Ertragstafel nach SCHOBER (1995) bezogen, nach welcher von einem groben Richtwert von 100-150 Zukunftsbäumen je Hektar ausgegangen werden kann. Dennoch sollte an dieser Stelle erwähnt werden, dass sich seit der Entwicklung der Ertragstafeln grundlegende Voraussetzungen wie Wuchsbedingungen und Waldbauformen verändert haben (PRETZSCH 2014). Da SCHOBER (1995) sich in der Ertragstafel auf Altersklassenwald und Reinbestände bezieht, ist es für eine Stadt wie Wuppertal mit ungleichaltrigen Mischbeständen bloß als Annäherung an den tatsächlichen Wert zu sehen.

Wie in Tabelle 4 dargestellt, lassen sich anhand der obig genannten Methode eine jährliche Staubfilterleistung von 290.008 €/a für die Stadt Wuppertal sowie 177.882,80 €/a für die Flächen der FBG errechnen (vgl. Tabelle 4). Auf die jeweilige Gesamtwaldfläche bezogen ergeben sich hieraus Werte von 164,68 €/ha/a für die Stadt Wuppertal sowie 167,02 €/ha/a für die Forstliche Betriebsgemeinschaft.

Tabelle 4: Berechnung der Staubfilterleistung, verändert nach SIEBERTH (2014)

Besitzverhältnis	Menge [kg/ha/a]	Wert [€/Baum/a]	Quelle	Hektarwert (bei einer Anzahl von 100 Bäumen) [€/ha/a]	Fläche [ha]	Ergebnis [€/a]	Ergebnis [€/ha/a]
Stadt Wuppertal	10,00	2,00	BADE ET AL. (2008)	200,00	1450,04	290.008,00	164,68
FBG	10,00	2,00		200,00	889,41	177.882,80	167,02

4.3. Wasser

Wasser ist eine der wertvollsten Ressourcen der Erde. Im folgenden Kapitel wird auf die positive Wirkung des Waldes auf Wasser eingegangen. Hinsichtlich dessen Schutz sollte besonders in einem urbanem Land wie Nordrhein- Westfalen mit seiner Industriegeschichte sowie der hohen Besiedlungsdichte besonderer Wert auf die nachhaltige Sicherung von qualitativ hochwertigem Trink- und Brauchwasser gelegt werden. Waldboden sichert hierbei die mechanische sowie biologische Filterung von Trinkwasser. Ebenfalls schützt eine dauerhafte Bestockung vor Überschwemmungen bei Starkregenereignissen, was an der erhöhten Wasserspeicherkapazität stark durchwurzelter Böden liegt (WALD & HOLZ NRW 2019b). Nachfolgend werden monetäre Werte der Nitratfilterleistung, der Retention sowie des Erosionsschutzes durch Wälder berechnet.

4.3.1. Nitratfilterleistung

Nitrat gefährdet insbesondere die Gesundheit von Säuglingen, da durch Umwandlung im Körper die Sauerstoffaufnahme des Hämoglobins gestört werden kann (PRÜBE UND VORLOP 1996; UMWELTBUNDESAMT 2020). Grenzwerte des Nitratgehalts im Grund- und Trinkwasser liegen bei 50 mg/l (RAT DER EUROPÄISCHEN UNION 1998; EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT DER EUROPÄISCHEN UNION 2006).

Trotz dieser Vorgaben werden in vielen Teilen Deutschlands im Grundwasser Nitratgehalte weit über den Grenzwerten gemessen. Für den Großteil dieser Einträge ist die Landwirtschaft durch intensive Düngung mit Gülle, Jauche etc. verantwortlich. Regionale Unterschiede im Nitratüberschuss im Wasser sind auf variierende Viehsatzdichten zurückzuführen (UMWELTBUNDESAMT 2020). Des Weiteren besteht nach der EU-Nitratrichtlinie von 1991 eine Verpflichtung Deutschlands, die Nitratreinträge aus landwirtschaftlichen Quellen zu verringern (RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN 1991). Deutschland hat dennoch eine der schlechtesten Grundwasserqualitäten Europas. Ausgehend davon sprach der Europäische Gerichtshof 2018 das Urteil, dass die

Bundesrepublik gegen seine Verpflichtungen verstößt. Es soll eine rasche Umsetzung des EuGH-Urteils erreicht werden, ansonsten könnten Strafzahlungen zulasten des Steuerzahlers verhängt werden (EUROPÄISCHE KOMMISSION 2019).

Hieraus wird ersichtlich, dass trotz Richtlinien und Vorgaben eine Nitrat-Problematik besteht.

Im Gegensatz zu landwirtschaftlichen Regionen kann dabei aus Wald qualitativ hochwertiges Trinkwasser gewonnen werden. Dies liegt einerseits an der biochemischen Filterung der Niederschläge, zum anderen durch die hohe passive Schutzwirkung des Waldes, da in Waldgebieten Industrieanlagen und Siedlungen fehlen (HEGG 2005). Auch der Verzicht auf den Einsatz von wassergefährdenden Stoffen wie Pflanzenschutzmittel und Dünger sowie der fehlende Bodenumbruch sind Hauptgründe für die großen Wasserqualitätsunterschiede zwischen Wald und landwirtschaftlich bewirtschafteten Zonen sowie besiedeltem Gebiet (BÜRGI und SPJEVAK 2009).

Nicht die gesamte Niederschlagsmenge gelangt durch den Waldboden ins Grundwasser. Einen Teil behält sich die Verdunstung vor, ein anderer wird für den Eigenbedarf der Bäume und Krautschicht benötigt. Die Menge des in das Grundwasser eingespeiste Wasser variiert zwischen den Waldformen. So versickern von beispielsweise 920 mm Nds in einer Fichtenmonokultur nur rund 33% in den Boden, der Rest wird verdunstet oder verbraucht. Unter einem Buchenbestand hingegen fließen rund 47% der 920 mm ins Grundwasser ab (SCHUTZGEMEINSCHAFT DEUTSCHER WALD 2020B). Somit sind hohe Laubholzanteile im Wald von großer Bedeutung für die vorhandene Trinkwassermenge. Die im Wuppertaler Stadforst vorhandenen Baumstrukturen bilden hierfür dementsprechend eine gute Grundlage mit lediglich nur knapp 10% Nadelholzanteil an der Gesamtfläche.

Der Waldbau kann folglich durch Verzicht auf Nadelholzmonokultur und schonender Bewirtschaftung der Bestände entscheidend zu den reinigenden bodenchemischen Eigenschaften des Waldbodens beitragen (HEGG 2005). Waldbauliche Maßnahmen können somit unter Inkaufnahme von Ertragseinbußen als Vorleistung in der Wertschöpfungskette zur Produktion von Trinkwasser gewertet werden (MERKER 2010).

Um die Berechnung der Nitratfilterleistung durchzuführen benötigt man zuerst die Niederschlagsdaten. Diese wurden der Forsteinrichtung der Stadt Wuppertal entnommen, welche sich auf die vergangene Klimaperiode beziehen (BETRIEBSWERK STADT WUPPERTAL 2013). Ermittelt wurden die Niederschlagswerte der drei Wuchsbezirke der „Bergischen Randschwelle“, des „Niederbergischen Hügellands“ sowie der „bergischen Hochfläche“. Der errechnete Mittelwert dieser Daten beträgt 1033,33 mm/a für die Region, in der die Flächen der Wuppertaler Waldflächen liegen. Von diesem Niederschlagswert kann jedoch

noch nicht darauf geschlossen werden, wie viel Trinkwasser entstehen kann. Abgezogen werden müssen Faktoren der direkten Verdunstung, Eigenverbrauch sowie Transpiration der Bäume. Versuche zeigten, dass von 920 mm/a Niederschlag unter einem Buchenreinbestand 47% ins Grundwasser abfließen, in Fichtenreinbeständen hingegen nur 33% (TRINKWASSERWALD® E.V. 2019). Mit gebotener Vorsicht können diese Werte nun auf Gebiete mit vergleichbaren Niederschlagsmengen übernommen werden (RUST 2019). Die Abflusswerte wurden mit den Laub- und Nadelholzanteilen der Stadt Wuppertal (LH: 90,22% und NH: 9,78%) sowie der FBG (LH: 87,17% und NH:12,83%) verrechnet. Hierbei wurde der Abgang der Fichtenflächen durch den Borkenkäfer um 60% berücksichtigt (RABE 2020A) und mit der verringerten Holzbodenfläche gerechnet. Es ergaben sich Korrekturwerte der Verdunstung von 561,81 mm/a für die Stadt und 566,23 mm/a für die FBG. Diese Werte werden vom angegebenen Niederschlag abgezogen, wobei eine Trinkwasserbereitstellung von 471,52 l/m²/a (Stadt Wuppertal) und 467,10 l/m²/a (FBG) verbleibt (Siehe Anhang, Berechnung I).

Weiterführend werden die eingesparten Kosten durch die natürliche Nitratfilterleistung des Waldes im Gegensatz zu einer theoretischen, technischen Wasseraufbereitung berechnet. Für verschiedene Filterverfahren fanden OLSCHESKI (1997) und ZWINTZ (1986) Werte von umgerechnet 0,08 ct/m³ -0,82 ct/m³ heraus. Diese Werte können für die Berechnung der Filterleistung von Wald in Trinkwasserschutzgebieten verwendet werden. Für die restlichen Waldflächen wird ein um 90% verringerter Wert verwendet, da auch diese zur Nitratfilterung beitragen und das Wasser an anderen Orten verwendet wird (SIEBERTH 2014; PAUL 2020; WISSENBERG 2019). Da zum Zeitpunkt dieser Arbeit kein ausgewiesenes Trinkwasserschutzgebiet in Wuppertal besteht (RABE 2020B) wird unter Annahme des geringsten Wertes von 0,08 ct/m³ und einer Verringerung dessen um 90% ein Wert von 54.698,02 €/a für die städtischen Flächen und 33.235,43 €/a für die Flächen der FBG errechnet. Auf den Jahr und Hektar bezogen sind dies 31,06 €/ha/a für die Stadt Wuppertal sowie 31,20 €/ha/a für die FBG (vgl. Tabelle 6).

Tabelle 5: Berechnung der Korrektur des Niederschlags nach PAUL (2020)

Besitzverhältnis	Niederschlag [mm/a]	Verdunstung [mm/a]	Korrigierter Niederschlag [l/m ² /a]	Korrigierter Niederschlag [l/ha/a]	Korrigierter Niederschlag [m ³ /ha/a]
Stadt Wuppertal	1033,33	561,81	471,52	4.715.216,50	4.715,22
FBG	1033,33	566,23	467,10	4.670.973,65	4.670,97

Tabelle 6: Inwertsetzung der Nitratfilterleistung

Waldfläche	Waldfläche [ha]	Preis [€/m ³]	Reduktion	Ergebnis [€/a]	Ergebnis [€/ha/a]
Stadt Wuppertal	1450,04	0,08 €	90%	54.698,02 €	31,06 €
Waldfläche	Waldfläche [ha]	Preis [€/m ³]	Reduktion	Ergebnis [€/a]	Ergebnis [€/ha/a]
FBG	889,41	0,08 €	90%	33.235,43 €	31,20 €

4.3.2. Retention

Wald kann einen vielfachen Einfluss auf Abflussvorgänge von Niederschlag und somit Überschwemmungen haben. Durch die Interzeption der Kronen wirkt er verdunstungserhöhend, durch die Bodendurchwurzelung nimmt er Einfluss auf die Infiltrationsfähigkeit. Darüber hinaus bremst und reduziert die Rauigkeit den Oberflächenabfluss. Prinzipiell gilt: je dichter und heterogener der Bestand, desto mehr Niederschlag kann zurückgehalten werden (WORRESCHK 2000). Die Wasserretention des Waldes wird im bergischen Land durch die im Zuge des Klimawandels vermehrten Starkniederschläge (KUNZ ET AL. 2017; BRAUSSEUR ET AL. 2017; MÜLLER ET AL. 2018) von zunehmender Bedeutung sein, da gerade in solchen niederschlagsreichen und hügeligen Regionen jedes Niederschlagsereignis zu Überschwemmungen in den Tallagen entwickeln kann (SIEBERTH 2014; WISSENBERG 2019). Durch die enormen Niederschlagsmengen bei Starkregenereignissen ist die komplette Verhinderung von Überschwemmungen durch Regenrückhalte- und Hochwasserschutzbecken nicht realistisch und ersetzt nicht die Wasserretentionsleistung des Waldes und des Waldbodens (SIEBERTH 2014).

Für die Berechnung dieser ÖSL werden angelehnt an SIEBERTH 2014, WISSENBERG 2019; und PAUL (2020) die Kosten für die Konstruktion von 1378,44 €/ha/a für Erosionsschutzwände nach MOOG und PÜTTMANN (1986) verwendet. (vgl. Kapitel 4.4.3. Erosionsschutz). Hiernach errechnen sich Werte von 1.998.793,14 €/a für die Stadt Wuppertal sowie 1.226.003,83€ für die FBG (vgl. Tab.7).

Tabelle 7: Berechnung der Retentionsleistung

Fläche	Retentionsleistung [€/ha/a]	Waldfläche [ha]	Ergebnis [€/a]	Ergebnis [€/ha/a]
Stadt Wuppertal	1.378,44	1450,04	1.998.793,14	1.135,01
FBG	1.378,44	889,00	1.226.003,83	1151,17

4.3.3. Erosionsschutz

Wind und Wasser können Erosion verursachen (SIEBERTH 2014). Jedoch kann Wald die Anfälligkeit des Bodens gegenüber diesen Faktoren erheblich minimieren. Hierbei spielt beispielsweise das Wurzelsystem eine Rolle, welche die mechanische Festigkeit des Bodens erhöht. Ebenso wird durch die Durchwurzelung die Wasseraufnahme des Bodens verbessert und somit eine Verminderung der erosiven Wirkung von Oberflächenabfluss bewirkt. Hinsichtlich der windbedingten Erosion kommt es an den Waldrändern zu einer Abnahme der Windgeschwindigkeiten und damit zu einer Minderung des Erosionsrisikos auf beispielsweise angrenzenden Ackerflächen (WALD & HOLZ NRW 2019b). In hügeligen Lagen können bewaldete Hänge außerdem die Gefahr durch Steinschlag senken (RICKLI ET AL. 2004). Ein lückenloser, stufiger Bestand mit standortgerechten Baumarten bietet hierbei bezüglich der Schutzfunktion die besten Voraussetzungen (THORMANN und SCHWITTER 2004). Gerade in bergigen Regionen wie Wuppertal kann Wald also eine erhebliche Minimierung des Erosionsrisikos bewirken und somit eine Schutzleistung erbringen.

Zur Berechnung der Erosionsschutzleistung der Wuppertaler Wälder wurden die nach der Waldfunktionenkartierung ausgewiesenen Erosionsschutzwälder (WALD & HOLZ NRW 2019) über ArcGIS mit den Waldflächen der Stadt Wuppertal und der FBG verschnitten und die Flächengröße [ha] ermittelt. Anschließend wurde der von MOOG und PÜTTMANN (1986) ermittelte Wert einer technischen Alternative (Hangverbauung) zu bewaldeten Hängen zum Zwecke des Erosionsschutzes herangezogen. Sie errechneten einen Wert von 1378,44€/ha für einen Hangverbau zum Schutz einer Straße im Sauerland. Überträgt man diesen Wert auf das Wuppertaler Gebiet mit ausgewiesenem Erosionsschutzwald ergibt sich eine Erosionsschutzleistung von 585.023,72 €/a für die Stadt Wuppertal und 306.628,53 €/a für die Flächen der FBG (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8: Berechnung der Erosionsschutzleistung, angelehnt an WISSENBERG (2019)

Fläche	Literaturwert Erosionsschutzleistung [€/ha/a]	Erosionsschutzwald (WALD & HOLZ NRW 2019) [ha]	Ergebnis [€/a]	Ergebnis [€/ha/a]
Stadt Wuppertal	1.378,44	424,41	585.023,72	332,20
FBG	1.378,44	222,45	306.628,53	287,91

4.4. Lärmschutz

Für die körperliche sowie psychische Gesundheit der europäischen Bevölkerung zählt Umgebungslärm nach der Luftverschmutzung zu einer der wichtigsten umweltbedingten Bedrohungen (WELTGESUNDHEITSORGANISATION 2018). Dieser umfasst die Lärmeinwirkungen von Straßen-, Schienen- und Flugverkehr sowie Industrie- und Gewerbelärm (EU-UMGEBUNGSLÄRMRICHTLINIE 2002). Es lassen sich Zusammenhänge zwischen Umgebungslärm und Krankheiten des Herz-Kreislaufsystems sowie kognitiven Beeinträchtigungen,

Schlafstörungen und Tinnitus finden (THEAKSTON 2011).

Besonders in Großstädten wie Wuppertal sind ständige

Geräuschkulissen von unterschiedlichsten Quellen Alltag für die Einwohner.

Angrenzend an dichten Wohnbebau führen beispielsweise mehrere Autobahnen und Bundesstraßen durch die Stadt.

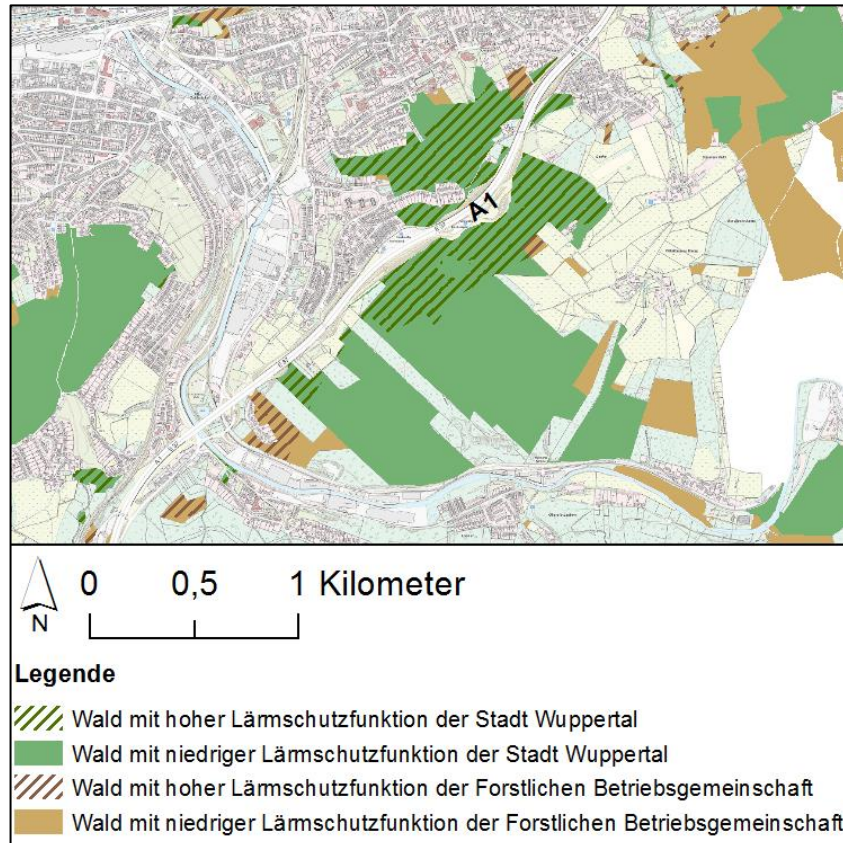


Abbildung 3: Eigene Darstellung der Lärmschutzfunktion eines Waldareals um die Autobahn 1 mittels ArcGIS

Verkehrslärm gilt als die größte Lärmquelle gegenüber der Bevölkerung in Europa (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY 2014). Bundesweit gesehen ist die Anzahl der Menschen, welche stark von Lärm beeinträchtigt sind in kreisfreien Großstädten (wie Wuppertal) am höchsten. Darüber hinaus ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen niedrigem sozioökonomischen Status und hoher Lärmbelastung in Deutschland zu verzeichnen (NIEMANN ET AL. 2014).

Wald kann der Lärmbelastung entgegenwirken. Zu unterscheiden sind hierbei direkte lärmindernde Wirkungen sowie indirekte lärmmoderierende Wirkungen der Stadtnatur. Erstere äußern sich beispielsweise in der Vergrößerung des Abstands zwischen Lärmquelle und Immissionsort und Schallabsorption durch Blätter, Stamm und Geäst. Es ist anzumerken, dass die schallmindernde Wirkung des Waldes hierbei nicht überschätzt

werden sollte, da Wälder nur eine Verringerung des Pegels von 5 bis höchstens 10 dB bewirken (MINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, ARBEIT UND WOHNUNGSBAU BADEN-WÜRTTEMBERG 2018). Indirekte Wirkungen stellen hingegen die subjektiv empfundene Minderung von Umgebungslärm dar. Hier sind beispielsweise die positive Bewertung von natürlichen Geräuschkulissen (z.B. Vogelgezwitscher, rascheln der Blätter im Wind) als Überlagerung des Lärms und die visuelle Abschirmung zur Lärmquelle zu nennen (TEEB DE 2016).

Anhand des Ausschnitts der Karte des Lärmschutzwaldes in der Stadt Wuppertal (Abb. 3) ist beispielhaft dargestellt, wie eine einzelne Waldfläche die Wohngebiete vom Lärm der angrenzenden Autobahn A1 abschirmen kann.

BERGEN ET AL. (1992) fanden heraus, dass eine Aufforstungsfläche im Gegensatz zu einer Freifläche eine Verminderung des Schallpegels um 11 dB(A) bewirkte. Zusätzlich wurde festgestellt, dass je verminderter Einheit dB(A) eine gesteigerte Zahlungsbereitschaft für eine Immobilie um 0,5% besteht (BORJANS 1983; zitiert nach SIEBERTH 2014)). Somit lässt sich eine um 5,5% gesteigerte Zahlungsbereitschaft errechnen. Bezogen auf die Aufforstungsfläche konnte somit ein Wert von umgerechnet 71,27 €/ha/a errechnet werden (BERGEN ET AL. 1992).

Für die Berechnung des Wertes der Lärmschutzfunktion wird sich an die zwei Kategorien nach SIEBERTH (2014), WISSENBERG (2019) und (PAUL 2020) angelehnt.

Wald wird in Flächen mit hohen und niedriger Lärmschutzfunktion eingeteilt.

Die Daten der Flächen mit einer hohen Lärmschutzfunktion sind in dieser Arbeit der Walfunktionenkartierung vom Land NRW (WALD & HOLZ NRW 2020) entnommen. Lärmschutzwald stellt hierbei Waldflächen dar, welche innerhalb eines Schallpegels von >55 dB(A) über 24 Stunden oder >45 dB(A) über Nacht zu einem schützenswerten Objekt, wie z.B. Wohnbebauung, liegt (WALD & HOLZ NRW 2019b). Dieser ausgewiesene Lärmschutzwald stellt für die Berechnung eines monetären Wertes die Flächengröße mit einer hohen Lärmschutzfunktion dar und wurde mittels ArcGIS digital mit den Waldflächen der Stadt Wuppertal und der FBG überschritten.

Den restlichen Waldflächen wird eine niedrige Lärmschutzfunktion zugesprochen, da sie zwar keine messbare Veränderung des Schallpegels bewirken, jedoch das subjektive Empfinden des Hörereignisses beeinflussen. Diesen Flächen wird dementsprechend ein 50% geringerer Wert zugeschrieben (SIEBERTH 2014). Für die Wälder im Eigentum der Stadt Wuppertal ergab sich somit ein Wert von 71.756,54 €/a, für die Flächen der FBG 41.398,57€/a. Auf die Gesamtwaldfläche bezogen ergaben sich Werte von 40,75 €/ha/a für die städtischen Flächen sowie 38,87 €/ha/a für die FBG (vgl. Tabelle 9).

Tabelle 9: Berechnung der Lärmschutzleistung verändert nach PAUL (2020)

	Variante	Wert [€/ha/a]	Faktor	Quelle	Fläche	Ergebnis [€/a]	Ergebnis [€/ha]	Gesamt [€/a]	Ergebnis [€/ha/a]
Stadt Wuppertal	Hohe Lärmschutzfunktion	71,27	1,00	BERGEN ET AL. (1992)	252,65	18.006,60	71,27	71.756,54	40,75
	Niedrige Lärmschutzfunktion		0,50		1.508,35	53.749,93	35,64		
FBG	Hohe Lärmschutzfunktion	71,27	1,00		96,74	6.894,58	71,27	41.398,57	38,87
	Niedrige Lärmschutzfunktion		0,50			968,26	34.503,98		

4.5. Siedlungswertsteigerung

Siedlungen in Waldnähe profitieren vom Einfluss des Waldes hinsichtlich kleinklimatischer Parameter wie Feuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Differenz der Temperaturextrema (BERGEN ET AL. 1992), jedoch auch von den in dieser Arbeit beschriebenen Leistungen wie beispielsweise Erosions- und Lärmschutz. Einen bedeutenden Teil nimmt jedoch ebenso die soziale Funktion von Wald ein. So dient er als Ort des sozialen Miteinanders, des Austausch verschiedener Kulturen, Erholungs- und Naturerfahrungsraum. Studien zeigen, dass Immobilienpreise durch diese Einflüsse von Grünflächen und Wäldern ansteigen. Die Kapitalisierung dieser fällt jedoch geringer aus, als strukturelle Merkmale der Immobilie (Alter, Größe etc.) (TEEB DE 2016).

Durch BERGEN ET AL. (1992) wurde eine Bodenwertsteigerung von bebauten und bebaubaren Grundstücken durch eine Aufforstung im Raum Göttingen von 1,03 €/m² (damals 2,02 DM/m²) ermittelt. Auf einen Hektar Wald errechneten sie daraufhin einen monetären Mehrwert auf die Wohnflächen von umgerechnet 392,67€/ha.

Für die Berechnung der Steigerung des Siedlungswerts wurde nach SIEBERTH (2014) ein digitaler Puffer von 300 Metern um Siedlungsflächen in der Stadt Wuppertal gelegt. Als Siedlungsflächen wurden im Zusammenhang der Wertsteigerung von Wohnflächen die Objektarten „Wohnbaufläche“ sowie „Flächen gemischter Nutzung“ als vornehmlich bewohnte Objektarten definiert (LEIBNIZ-INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE RAUMENTWICKLUNG E.V. 2020) und diese um 300 Meter aufgepuffert.

Hierauf wurden diese mit den Waldflächen jeweils der Forstlichen Betriebsgemeinschaft sowie den städtischen Waldflächen digital verschnitten. Sofern sich nun innerhalb dieses Puffers Wald befindet, wird dieser als siedlungswertsteigernd bewertet. Bemerkenswert ist

die dichte Besiedelung der Wuppertaler Fläche und somit der geringe Waldanteil, welcher keinen Einfluss auf die Grundstückswerte hat.

Es wird eine Gesamtsiedlungswertsteigerung von beinahe 622.257,51 €/a für die Städtischen Waldflächen sowie nahezu 312.737,30 €/a für die Waldflächen der FBG berechnet (siehe Tabelle 9).

Tabelle 10: Berechnung des Wertes von Wald mit Wirkung auf den Siedlungswert, verändert nach WISSENBERG (2019)

Eigentum	Wert [€/ha/a]	Quelle	Pufferfläche [ha]	Ergebnis [€/a]	Ergebnis [€/ha/a]
Stadt Wuppertal	392,67	BERGEN ET AL. (1992)	1.584,68	622.257,51	353,35
FBG			796,44	312.737,30	293,65

4.6. Erholungswert

Ruhe, frische Luft und die kostenfreie Zugänglichkeit machen Wälder zu einem Ort der Erholung und Regeneration. Der Waldbesuch bietet Entspannung und Entschleunigung von der Hektik des Tages. Waldbesuchende können sich von Lärm sowie psychischen und physischen Belastungen auf unterschiedliche Weise erholen. Während der eine Waldbesuchende mit seinem Hund spazieren geht nutzt ihn der nächste als Ort für sportliche Aktivitäten (ASCHE 2015). Ebenfalls dienen Wälder als Erfahrungsraum und Lernort, die Sinneswahrnehmung spielt hier eine zentrale Rolle. Bei regelmäßigen Waldbesuchen können bei Kindern beispielsweise eindeutige Fortschritte in ihrer Sprache, der Motorik, ihrer Sozialkompetenz und Konzentrationsfähigkeit im Vergleich zu gleichaltrigen Kindern ohne regelmäßigen Waldaufenthalt festgestellt werden (GODAU 2009).

Für die verschiedenen Erholungsarten im Wald ist die ausreichende hochqualitative Wegeerschließung sowie die Zugänglichkeit von hoher Bedeutung (ASCHE 2015). Diese Voraussetzungen sind zum einen durch die digital ermittelte Wegelänge von rund 200 km in den Wuppertaler Stadtwäldern sowie der Verinselung der Waldareale, und somit der Zugänglichkeit für Menschen aller Stadtbezirke, gegeben. Die Bedeutung von Wald als Erholungsraum wächst stetig und wird, gerade in urbanen Räumen, vielfach sogar als die bedeutsamste Waldfunktion gesehen (HOELZEL 2009). Eine monetäre Inwertsetzung soll ein Bewusstsein für diese ÖSL schaffen.

Bei der Ermittlung des Erholungswertes werden meist zwei verschiedene Methoden angewendet. Zum einen wird sich auf die indirekte Bewertungsmethode „Travel Cost Method“ (TCM) bezogen. Nach dieser Reisekostenmethode werden die Aufwendungen

ermittelt, die getätigt wurden um in den Wald zu gelangen (ASCHE 2015). Beruhend auf der Entfernung und der Häufigkeit der Besuche wird daraus die Nachfrage nach dem Erholungsstandort geschätzt. Bei der Inkaufnahme einer großer Entfernungen wird dem einzelnen Besuch dementsprechend ein hoher Wert beigemessen, wohingegen der Wert eines einzelnen Besuchs zu einem nahe gelegenen Standort geringer ausfällt. Letzteres ist typisch für städtische Erholungsräume, welche dafür jedoch häufiger besucht werden (TEEB DE 2016).

Zum anderen wird die „Contigent Valuation Method“ (CVM) herangezogen. Bei dieser Kontingenten Bewertungsmethode wird durch direkte Besucherbefragungen eine bewusst geäußerte Präferenz des Waldbesuchenden ermittelt. Hierbei wird eine hypothetische Marktsituation für ein Gut (bspws. Wald) geschildert und daraufhin ermittelt, welchen maximalen Preis die Befragten für dieses Gut bereit wären zu zahlen (ELSASSER 1996).

Es wird also im Gegensatz zu der indirekten Bewertungsmethode der TCM eine direkte Befragung der potentiellen Zahlungsbereitschaft durchgeführt. Das Konzept der CVM ist unter Wirtschaftswissenschaftlern sowie Politikern jedoch umstritten, da durch die fehlenden Konsequenzen für die Angaben der Befragten erhebliche Überschätzungen der tatsächlichen Zahlungsbereitschaft aufkommen (TEEB DE 2016).

Zur Überprüfung der Anwendbarkeit und Zuverlässigkeit der Methoden sind Studien durchgeführt worden, welche sowohl die TCM als auch die CVM verwendeten (ADAMOWICZ ET AL. 1997; TEEB DE 2016). Trotz Schwächen und Stärken beider Methoden eignen sie sich grundsätzlich die Zahlungsbereitschaft von Erholungssuchenden im Wald zu ermitteln (ELSASSER 1996).

Aufgrund der Komplexität kann im Rahmen dieser Arbeit kein auf Wuppertal zugeschnittenes Besucherbefragung hinsichtlich der Zahlungsbereitschaft durchgeführt werden. Bei der Berechnung des monetären Wertes der Erholungsleistung wird sich dementsprechend auf bereits bestehende Literatur bezogen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit ähnlichen Arbeiten (SIEBERTH 2014; WISSENBERG 2019; PAUL 2020) werden die aus der Literaturrecherche erhobenen Daten gemittelt und auf Wuppertaler Verhältnisse übertragen. Damit wird die theoretische Zahlungsbereitschaft für die Bevölkerungszahl der Stadt mit 362.174 Menschen (STADT WUPPERTAL 2020) ermittelt.

Somit wurden angelehnt an PAUL (2020) und WISSENBERG (2019) die Waldbesucherhäufigkeit unterschiedlicher Studien herangezogen. Diese wurden auf die 362.174 Einwohner Wuppertals übertragen (vgl. Anhang, Tab.II bis Tab.VIII). Die ermittelten Zahlen von Besuchenden werden hierauf mit den Ergebnissen verschiedener Studien verrechnet, welche die Waldbesuchsgewohnheiten der deutschen Bürger*innen

untersucht haben. In diesen Studien wird die Zahlungsbereitschaft pro Jahr oder pro Tag ermittelt (vgl. Anhang, Tab. IX und Tab.X). Um die hypothetische jährliche sowie die tägliche Zahlungsbereitschaft zu erlangen wurden die recherchierten Werte gemittelt. Anschließend wurden sie mit den Waldbesuchenden der Wuppertaler Wälder verrechnet.

Jedoch beziehen sich die ermittelten Werte auf alle Wälder Wuppertals mit 4850 ha Fläche unabhängig von den Besitzverhältnissen. Aufgrund dessen wurde ein Wert je Hektar ermittelt und somit die jeweiligen Anteile der Stadt Wuppertal sowie der FBG ermittelt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 dargestellt. Somit wurde für die Stadt Wuppertal ein Wert bei einer jährlichen Abgabe von 18.306.694,47 €/a und bei einer täglichen 15.458.327,04 €/a ermittelt. Die Zahlungsbereitschaft für die Erholungsleistung auf Flächen der FBG belaufen sich bei der jährlichen Abgabe auf 11.071.151,32 €/a, bei der täglichen wiederum auf 9.348.573,45 €/a.

Wie bereits erläutert sind durch die TCM und CVM erhobenen Werte mit kritischem Auge zu betrachten. Aufgrund dessen wird sich in der Gesamtkalkulation für die Zahlungsvariante mit den niedrigeren Ergebnissen entschieden, also der Variante der „Täglichen Abgabe“.

Tabelle 11: Berechnung der Erholungswerte, verändert nach PAUL (2020)

Zahlungs- variante	Wert	Besucher	Ergebnis [€/Jahr]	Ergebnis [€/ha/a]	Stadt Wuppertal [€/Jahr]	FBG [€/Jahr]
		Besuche				
Jährliche Abgabe	146,25 €/Besucher/a	344.737,91	50.417.919,17	10.395,45	18.306.694,47	11.071.151,32
Tägliche Abgabe	2,46 €/Besuch	17.306.225,89	42.573.315,70	8.778,00	15.458.327,04	9.348.573,45

4.7. Biologische Artenvielfalt

Die biologische Artenvielfalt stellt nach TEEB DE (2016), angelehnt an die MEA (2005), genauso wie die Basisleistungen der Ökosysteme eine unverzichtbare Grundlage für alle weiteren Leistungen (Regulierungs-, Versorgungs- und Kulturelle Leistungen) dar. Jedoch sind keine direkten Auswirkungen auf das menschliche Wohlergehen erkennbar, weswegen in diesen Studien nicht weiter auf sie eingegangen wird. In dieser Arbeit wird die biologische Vielfalt dennoch betrachtet, da eine subjektiv empfundene moralische Verpflichtung empfunden wird, den Schutz der Artenvielfalt zu gewährleisten.

In der Kulturlandschaft gehören Wälder zu den naturnächsten Elementen. Durch die Vertikalstruktur wird auch für fliegende und kletternde Tierarten eine große Bandbreite an Nahrungsangeboten zur Verfügung gestellt (SCHMIDT 2015). Als vielschichtiges Ökosystem

bietet Wald Lebensraum für Tiere, Pflanzen, Pilze und Mikroorganismen, welche durch ihre Anpassungen an unterschiedliche Waldarten und Waldzusammensetzungen angewiesen sind (SCHUTZGEMEINSCHAFT DEUTSCHER WALD 2020A). Ein integrierter Waldnaturschutz bei der Waldbewirtschaftung trägt hierbei zum Erhalt von Biodiversität bei (MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NRW 2020).

Naturnah bewirtschaftete Wälder weisen einheimische, standortgerechte Baumarten, einen ausreichenden Alt- und Totholzanteil und einen ausgeprägten Strukturreichtum auf. Diese Gegebenheiten und zahlreiche Kleinstrukturen bieten auch spezialisierten Arten einen Lebensraum. Zertifizierung der Waldbewirtschaftung kann hierbei ein wirksames Instrument darstellen die biologische Vielfalt zu fördern und gleichzeitig ökologischen, sozialen und ökonomischen Kriterien zu entsprechen. Eins der etablierten Zertifizierungssysteme in Deutschland ist das „*Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes*“ (PEFC) (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT 2014). Nach diesem sind auch die in dieser Arbeit betrachteten Waldflächen zertifiziert.

Eine naturnahe, multifunktionale Forstwirtschaft trägt einerseits zum Arten- und Naturschutz bei, ist jedoch oft auf kostenintensive pflegerische Eingriffe angewiesen. Vor allem die Ausweisung von Habitatbäumen, die laufenden Verwaltungskosten sowie gesteigerte Holzerntekosten sind gewinnmindernde Faktoren für einen Forstbetrieb (SEINTSCH ET AL. 2012). Habitatbäume sind tote, aber auch lebende Bäume die durch ihre Beschaffenheit Lebensraum für verschiedene Arten anbieten. Sie haben beispielsweise Baumhöhlen mit Mulm für Käfer oder bieten Fledermäusen durch Risse im Holz einen Unterschlupf. Somit ist die Ausweisung dieser Bäume eine besondere Maßnahme zum Erhalt der Artenvielfalt (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT 2019). Ebenfalls zu Gewinneinbußen führt die Überführung von profitablen Nadelreinbeständen zu Mischbeständen (MÖHRING und RÜPING 2006).

Maßnahmen der Waldbesitzer für den Arten- und Biotopschutz können durch Förderprogramme verschiedene Akteure finanziert werden. Hier zu nennen sind beispielsweise EU, Bund, Länder, Kommunen sowie Privatpersonen (NEIDLEIN ET AL. 2004). Doch um die biologische Vielfalt auf Dauer zu erhalten bedarf es einer breiten Zustimmung in der Gesellschaft. Verschiedene Studien belegen diesbezüglich eine vorhandene Zahlungsbereitschaft (vgl. Anhang Tab.XI). Angelehnt an SIEBERTH (2014), WISSENBERG (2019) und PAUL (2020) werden diese Studien als Grundlage für die Berechnung des monetären Wertes für die ÖSL „Artenschutz und Biodiversität“ herangezogen. Die Studien beziehen sich alle auf Beträge in €/Haushalt, wobei es sich um jährliche oder monatliche Abgaben handelt.

Eine Inwertsetzung erfolgte demnach auf Grundlage der 173.241 bestehenden Haushalte in Wuppertal (ZENSUSDATENBANK 2011) Hierbei wurden die Varianten der monatlichen sowie jährlichen Zahlungsbereitschaft errechnet. Doch ebenso wie bei der Berechnung der Erholungsleistung (vgl. Kapitel 4.6) gilt die Zahlungsbereitschaft der Haushalte der gesamten Wuppertaler Waldfläche. Aus diesem Grund wurde die Zahlungsbereitschaft auf die Gesamtheit der Flächen von 4850 ha bezogen, ein Wert je Hektar berechnet und daraufhin auf die Flächenanteile der Stadt Wuppertal sowie der FBG umgeschlagen. Die monatliche Zahlungsvariante würde der Stadt Wuppertal einen Wert von rund 6,78 Mio. €/a und der FBG rund 4,1 Mio. €/a zusprechen. Über die jährliche Zahlungsvariante lässt sich für Wuppertal ca. 2,9 Mio. €/a herleiten, für die FBG rund 1,75 Mio. €/a. Dargestellt sind die Ergebnisse in Tabelle 12. Aus den in Kapitel 4.6 erläuterten Gründen wird sich auch hier in der Gesamtkalkulation auf den geringeren Wert der jährlichen Abgabe bezogen.

Tabelle 12: Berechnung der Artenschutz- und Biodiversitätsleistung, verändert nach WISSENBERG (2019)

Zahlungs- variante	Wert [€]	Haushalte	Ergebnis [€/ha/a]	Stadt Wuppertal [€/a]	FBG [€/a]	Quellen
€/Haushalt/ Monat	8,99	173.241	3.853,45	6.786.043,44	4.103.925,69	Anhang, Tab. XI
€/Haushalt/ Jahr	46,25		1.652,04	2.909.292,82	1.759.423,09	

4.8. Sonstiges

4.8.1. Gesundheit

Gesundheit wird nach der Verfassung der Weltgesundheitsorganisation (WHO) vom 22.7.1946 nicht allein als Abwesenheit von Krankheit definiert, sondern als „Zustand vollkommen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens“ (WENDT 2012). Dies bedeutet, dass nicht nur offensichtlich physische gesundheitsbeeinflussende Kriterien wie schadstofffreie Luft und gefiltertes Trinkwasser (wie in dieser Arbeit bereits beschreiben), sondern auch soziokulturelle Aspekte wie die Erholungsfunktionen und der zwischenmenschliche Austausch im Wald gesundheitsfördernde Wirkungen haben können.

Es ist wissenschaftlich erwiesen, dass das Leben sowie Aktivitäten in einer grünen Umwelt den psychischen und physischen Zustand fördern können (BARTON ET AL. 2012; BARTON UND PRETTY 2010). HARTIG ET AL. (2003) fanden heraus, dass eine grüne Umgebung im Gegensatz zu einem bebauten urbanen Umfeld zu einer stärkeren Stressreduktion, einem stärker sinkendem Blutdruck sowie stärker ansteigenden positiven Emotionen und einer gesteigerten Aufmerksamkeit führten. Ebenso konnten Studien aus Japan nachweisen,

dass Waldspaziergänge Blutdruck und Herzfrequenz senken und das Herz-Kreislaufsystem stärken (TAKANO ET AL. 2002). Ebenso fanden Forscher aus Japan heraus, dass das „Shirinyoku“ (das Baden im Wald) durch die Aufnahme von Phytonzyden aus der Luft Krebs-Killerzellen aktiviert. Phytonzyden sind beispielsweise etherische Öle und werden von Bäumen ausgestoßen, woraufhin sie von Waldspaziergängern eingeatmet werden können (LI 2010). Im Rahmen der japanischen Studien wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem einem hohen Bewaldungsprozent und einer geringeren krebsbedingten Sterblichkeit festgestellt (LI ET AL. 2008).

Gerade Städte, welche im Vergleich zu unbebautem Umland veränderte Klimabedingungen aufweisen, könnten durch Wald und die auskühlende und beschattende Wirkung von Bäumen urbanen Hitzestress sowie den städtischen Wärmeinsel-Effekt verringern (TEEB DE 2016). Der Wärmeinsel-Effekt führt zu einer deutlich erhöhten Mortalität durch die verursachten „tropischen Nächte“ mit Temperaturen $>20^{\circ}\text{C}$ (FENNER ET AL. 2015).

Wald leistet demnach einen positiven Effekt auf die psychische und auf die physische Gesundheit (ASCHE 2020). Zudem ist anzumerken, dass Waldzugang physische Betätigung und Sport im Freien fördert und somit physisches Wohlbefinden fördern. Ein Mangel an diesen Aktivitäten kann beispielsweise zu erhöhter Übergewichtsprävalenz und der damit verbundenen Gesundheitsproblemen führen (ABRAHAM ET AL. 2007). Die Nutzung von Wald zur Gesundheitsförderung könnte folglich die monetäre Belastung des Gesundheitswesens entspannen (KARJALAINEN ET AL. 2010).

Um innerhalb dieser Arbeit belastbare Zahlen errechnen zu können, fehlen zum derzeitigen wissenschaftlichen Stand die festgelegten Standards. ASCHE (2020) berechnet beispielsweise einen Schätzwert für die Gesundheitsleistung des Waldes anhand die gesparten jährlichen Arztkosten, indem davon ausgegangen wird, dass rund ein Drittel der städtischen Bevölkerung regelmäßig den Wald besucht und deswegen einmal weniger im Jahr einen Arzt aufsuchen muss. Nach dieser Methode werden die Kosteneinsparungen eines Arztbesuchs berechnet, jedoch die vielfältigen gesundheitsfördernden Aspekte des Waldes, die bei ihrer Abwesenheit nicht sofort zu Behandlungsbedarf führen, außen vor gelassen. Da die tatsächliche Zahl der Waldbesuchenden außerdem nur sehr unzuverlässig ermittelt werden kann wird diese Methode zu derzeitigem Wissenstand in dieser Arbeit nicht durchgeführt und sich auf die obige verbale Beschreibung der gesundheitsfördernden Leistung des Waldes beschränkt.

4.8.2. Wildbret

Wildbret ist jegliches zum Verzehr geeignete Fleisch von dem Jagdrecht unterliegenden Wildtieren. Sein Konsum stellt eine Alternative zu fehlernährten Masttieren dar, welche aus intensiver landwirtschaftlicher Produktion bezogen werden und reich an gesundheitsgefährdenden gesättigten Fettsäuren ist. Wildbret ist nicht nur insgesamt fettärmer, sondern stellt auch hinsichtlich der Fettsäuremuster im Muskelfleisch hochwertiger (VALENCAK ET AL. 2006). Jedoch hat Wildbret im Alltag der deutschen Bevölkerung kaum eine Bedeutung (BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG 2018). Zudem kann aufgrund der Quantität des Wildes vermutlich keine flächendeckende Versorgung gewährleistet werden (NORDDEUTSCHER RUNDFUNK 2019).

Eine Inwertsetzung dieser Versorgungsleistung wird an dieser Stelle nicht durchgeführt, da es weder Angaben für die Arbeitszeit noch den Materialverbrauch zur Verarbeitung des Wildes vorliegen (WISSENBERG 2019).

4.8.3. Verkehrssicherheit

Nach § 60 Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) besteht in der freien Landschaft Betretungsrecht auf eigene Gefahr. Jedoch ist es die Pflicht des Waldbesitzers eine Gefahr von den auf seinen Flächen stehenden Bäumen auf beispielsweise Straßengrundstücke sowie bebaute Grundstücke/Gärten etc. zu verhindern. Somit ergibt sich eine Verkehrssicherungspflicht, bei welcher in regelmäßigen Abständen die Bäume in einer Baumlänge Entfernung (hier angesetzt auf 35 m) auf Schäden und Gefährdungspotenzial hin überprüft werden müssen. Für die Berechnung wurde digital ein Puffer von 35 Metern um zu schützende Objekte gelegt. Diese wurden mit den Flächendaten der Wälder verschnitten und somit für die Stadt Wuppertal eine verkehrssicherungspflichtige Gesamtfläche von 615,18 ha ermittelt. Die auf diesen Flächen stockenden Bäume müssen auf ihre Sicherheit kontrolliert werden. Die Fläche grenzt an insgesamt 175,76 km Straßen- oder Wohnbebauungsgrenze. Für die FBG lassen sich hier rund 63,55 km verkehrssicherungspflichtige Waldrandlänge errechnen. In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Flächenanalysen tabellarisch zusammengefasst. Zwar lassen sich für die Verkehrssicherung Werte durch bspw. Lohn von Baumkontrollierenden berechnen, jedoch stellt die allgemeine Verkehrssicherheit keine Ökosystemleistung des Waldes dar und fließt hier nur zu Informationszwecken mit ein.

Tabelle 13: Berechnung der verkehrssicherungspflichtigen Flächen

	Fläche m ²	Fläche ha	Länge [m]	Länge [km]
Stadt Wuppertal	6.151.752,18	615,18	175.764,35	175,76
davon Wohnbebauungsgrenze	2.710.366,22	271,04	77.439,03	77,44
davon Straßengrenze	2.282.000,33	228,20	65.200,01	65,20
FBG	2.224.254,41	222,43	63.550,13	63,55
davon Wohnbebauungsgrenze	968.597,00	96,86	27.674,20	27,67
davon Straßengrenze	802.079,73	80,21	22.916,56	22,92
Gesamt	8.376.006,59	837,60	239.314,47	239,31

4.8.4. Infrastrukturelle Einrichtungen

Die Wälder der Stadt Wuppertal haben ein ausgeprägtes, LKW-befahrbares Forstwegenetz. Bei der Ermittlung der Wegelängen wurde digital für die stadteigenen Flächen eine Länge von rund 200 Kilometern ermittelt, die Flächen der FBG sind mit rund 69 Kilometer Wegelänge ausgestattet. Über diese Wege können viele verschiedene Arten der Erholung im Wald stattfinden. Somit dienen sie nicht nur der Forstwirtschaft, sondern auch den Bürgern der Stadt.

Zum Stichtag 01.01.2013 lässt sich aus der Forsteinrichtung zusätzlich diverse Kenndaten der Erholungseinrichtungen ableiten. So ist beispielsweise eine Reitwegelänge von 20 Kilometern im Stadtwald verzeichnet sowie rund 400 Bänke, 13 Schutzhütten, ein Wildgatter sowie 2 ausgewiesene Mountainbike-Trassen und diverse Lehrpfade (FORSTPLANUNGSWERK FÜR DEN STADTWALD WUPPERTAL 2013). Anhand dieser zusammengefassten Daten wird deutlich, dass die Forstverwaltung der Stadt einen erheblichen, jedoch in einem so urbanem Gebiet auch gerechtfertigten und vor allem benötigten Aufwand für die Erholungsinfrastruktur in ihren Wäldern betreibt.

Für die Forstbetriebsgemeinschaft Wuppertal liegen die Daten der Erholungsinfrastruktur nicht vor, sodass keine Inwertsetzung dieser Leistung geschieht.

5. Gesamtkalkulation

Bei der Zusammenfassung der Ergebnisse ergibt sich ein Gesamtwert der Ökosystemleistungen von 23.349.970,57 €/Jahr für die Stadt Wuppertal sowie 13.850.911,35 €/Jahr für die Forstbetriebsgemeinschaft. Auf die jeweiligen Gesamtwaldflächen umgeschlagen bedeutet dies, dass jeder städtische Hektar 13.259,26 €/ha/a wert ist, jeder der FBG 13.005,51 €/ha/a (vgl. Tabelle 14 und Tabelle 15). Die Erholungsleistung nimmt hierbei den größten Anteil am Gesamtwert ein, bei beiden Betrachtungen erreicht sie über 65%. Darauf folgt der Artenschutz, wohingegen die einzige tatsächlich monetär vergütete Leistung der Holzproduktion keinen ganzen Prozentwert erreicht.

Jedoch ist an dieser Stelle erneut anzumerken, dass es sich um keinen absoluten Wert handelt. Die in dieser Arbeit entstandenen Werte dienen der Veranschaulichung der Vielschichtigkeit der Ökosystemleistungen des Waldes und sollen ein Bewusstsein für ihren Wert schaffen.

Tabelle 14: Gesamtkalkulation der inwertgesetzten ÖSL der Stadt Wuppertal

Nutzung	Erläuterung	Bewertete Fläche [ha]	Wertansatz	Wert [€/a]	Wert [€/ha/a]	Prozentualer Anteil
Holznutzung	Holzerlös der gesamten Waldfläche	1.761,03	40,99€/ Efm o.R.	190.785,52	108,34	0,82%
Kohlenstoffdioxid - Adsorption	Senkenleistung des Waldes der Holzbodenfläche	1.450,04	30,81 €/t	320.499,45	181,99	1,37%
Sauerstoff-Produktion	Sauerstoffproduktion der Holzbodenfläche	1.450,04	0,15€/ m ³	848.528,81	481,84	3,63%
Staubfilterleistung	Feinstaubfilterleistung der Holzbodenfläche	1.450,04	2 €0,00/Baum/a	290.008,00	164,68	1,24%
Nitratfilterleistung	Nitratfilterung der Holzbodenfläche	1.450,04	0,01 €/ m ³	54.698,02	31,06	0,23%
Retentionsleistung	Rückhalt von Starkniederschlägen	1450,04	1.378,44€/ha	1.998.793,14	1.135,01	8,56%
Erosionsschutzleistung	Erosionsschutzwald nach der Waldfunktionenkartierung	424,41	1.378,44€/ha	585.023,72	332,20	2,51%
Lärmschutzleistung	Summe hoher und niedriger Lärmschutzfunktion	252,65 1.508,35	71,27 €/ha/a	71.756,54	40,75	0,31%
Siedlungswertsteigerung	Wertbeeinflussung durch Wald	1.584,68	392,67 €/ha/a	622.257,51	353,35	2,66%
Erholungswert	Wert „Tageskarte“	1.761,03	2,46 €/Besuch	15.458.327,04	8.778,00	66,20%
Artenschutz/ Biodiversität	Schutzfunktion des Waldes	1.761,03	46,25 €/Haushalt/Jahr	2.909.292,82	1.652,04	12,46%
Gesamtsumme				23.349.970,57	13.259,26	100%

Tabelle 15: Gesamtkalkulation der inwertgesetzten ÖSL der FBG

Nutzung	Erläuterung	Bewertete Fläche [ha]	Wertansatz	Wert [€/a]	Wert [€/ha/a]	Prozentualer Anteil
Holznutzung	Holzerlös der gesamten Waldfläche	1065	37,51€/ Efm o.R.	36.040,41	33,84	0,26%
Kohlenstoffdioxid-Adsorption	Senkenleistung des Waldes der Holzbodenfläche	889,41	30,81 €/t	166.959,82	156,76	1,21%
Sauerstoff-Produktion	Sauerstoffproduktion der Holzbodenfläche	889,41	0,15€/ m ³	442.028,12	415,05	3,19%
Staubfilterleistung	Feinstaubfilterleistung der Holzbodenfläche	889,41	2 €/Baum/a	177.882,80	167,02	1,28%
Nitratfilterleistung	Nitratfilterung der Holzbodenfläche	889,41	0,01 €/ m ³	33.235,43	31,20	0,24%
Retentionsleistung	Rückhalt von Starkniederschlägen	889,41	1.378,44€/ha	1.226.003,83	1151,17	8,85%
Erosionsschutzleistung	Erosionsschutzwald nach der Waldfunktionenkartierung	222,45	1.378,44 €/ha	306.628,53	287,91	2,21%
Lärmschutzleistung	Summe hoher und niedriger Lärmschutzfunktion	96,74 968,26	71,27 €/ha/a	41.398,57	38,87	0,30%
Siedlungswertsteigerung	Wertbeeinflussung durch Wald	796,44	392,67 €/ha/a	312.737,30	293,65	2,26%
Erholungswert	Wert „Tageskarte“	1065	2,46 €/Besuch	9.348.573,45	8.778,00	67,49%
Artenschutz/ Biodiversität	Schutzfunktion des Waldes, Jährliche Abgabe	1065	46,25 €/Haushalt/Jahr	1.759.423,09	1.652,04	12,70%
Gesamtsumme				13.850.911,35	13.005,51	100%

6. Schlussfolgerung und Ausblick

Die Bedeutung der Produkte und Leistungen des Waldes wandelten sich schon seit jeher von Zeit zu Zeit. Vor wenigen Jahrzehnten noch waren die vielfältigen Leistungen des Waldes dem Ziel der Holzproduktion untergeordnet, heute hat sich dies grundlegend geändert. Ganz im Gegenteil ist die Holzproduktion des Waldes für viele Stadtbewohner kaum noch nachvollziehbar (ASCHE 2015). Es ist zu erkennen, dass der Wald sehr viel mehr wert ist als von den Holzernteerlösen abzuleiten wäre. Diese haben nach den Berechnungen dieser Studie keinen ganzen Prozent Anteil an den Gesamtergebnissen, sind jedoch die einzige vergütete ÖSL des Waldes. Dies ist unter anderem auf ihre „Greifbarkeit“ zurückzuführen. Die anderen betrachteten Leistungen haben zumindest auf den ersten Blick keinen direkten Einfluss auf das menschliche Leben und werden als selbstverständlich angesehen. Deswegen werden sie im politischen Diskurs oft vernachlässigt. Die berechneten Werte sollen demnach keinen absoluten Wert darstellen, sondern ein Bewusstsein für die verborgeneren Leistungen des Waldes schaffen. Anzumerken ist an dieser Stelle auch, dass nicht alle ÖSL berechnet werden können und viele der Werte als kritisch anzusehen sind. Als Beispiel ist hier die Erholungsleistung zu nennen, deren Inwertsetzung durch die Zahlungsbereitschaftsmethoden ermittelt wird. Da jedoch keine realen Konsequenzen aus den Angaben der Befragten erfolgen, kann es zu einer Überschätzung der eigenen Bereitschaft kommen und somit Werte unbrauchbar gemacht werden (ELSASSER 1996). Dennoch ist dieser ÖSL eine enorme Bedeutung zuzusprechen, schließlich werden ihr Anteile von rund 65% der beiden Kalkulation zugeschrieben. Dies zeigt, dass der Forstwirtschaft insbesondere im urbanen Raum eine bedeutende Rolle zukommt, die über die reine Bereitstellung von Holz weit hinaus geht. Gesunde Mischwälder mit einer hohen Strukturvielfalt erzielen dabei deutlich höhere ÖSL-Werte als Reinbestände. Da Waldbesitzende jedoch nur für die Leistung Holz entlohnt werden, wird dagegen ein finanzieller Anreiz geschaffen, ertragreiche Reinbestände zu bewirtschaften. Unter Beachtung der Multifunktionalität des Waldes können sich Synergien zwischen verschiedenen Ökosystemleistungen bilden. So sichert eine naturnahe, nachhaltige Bewirtschaftung die Artenvielfalt und Biodiversität, fördert jedoch auch die Qualität des Waldes als soziale Begegnungsstätte sowie Trinkwasserqualität durch hohe Laubbaumanteile.

Doch dadurch, dass nur ausgewählte Leistungen und Werte der Natur bei einer Monetarisierung erfasst werden können, besteht die Gefahr eines „Eisberg-Effekts“. Dies bedeutet, dass der weitaus größte Teil unbeachtet und somit unbewertet bleibt. Dies ist

noch ein Hinweis darauf, dass die Werte, die während einer solchen Inwertsetzung entstehen, als Denkanregung angedacht sind (HARTJE ET AL. 2015). Auch versuchen die Berechnungen dieser Arbeit lediglich den momentanen Zustand der Wuppertaler Waldflächen zu erfassen. Zwar ist der Fichtenanteil auch ohne Kalamitätsfall relativ gering, dennoch würde bei der Berechnung ein höherer Wert ermittelt werden, wenn die gesamte Holzbodenfläche herangezogen werden könnte. Da sich auf den Kalamitätsflächen jedoch wieder neuer Wald ansiedeln wird werden die vielfältigen ÖSL des Waldes auch dort wieder geleistet werden können.

In die Zukunft blickend ist zu bemerken, dass eine Weiterentwicklung der Monetarisierung von Ökosystemleistungen unter den sich wandelnden Bedürfnissen der Gesellschaft Sinn macht und möglich ist. Auch unter Berücksichtigung des Klimawandels ist es wichtig, die Multifunktionalität des Waldes durch die professionelle Betreuung durch Forstpersonal zu gewährleisten und zu sichern.

7. Zusammenfassung

Der Wert des Waldes wird in der heutigen Gesellschaft nicht mehr durch den Holztertrag definiert. Weitaus höhere Bedeutung kommt den kulturellen und sozialen Leistungen zu. Ebenfalls spielen die Regulierungsleistungen im Rahmen des Klimawandels eine enorme Rolle, so kann der Wald dazu beitragen, Hochwasser zu regulieren und Luftverschmutzung zu bekämpfen. In dieser Arbeit wurden die Ökosystemleistungen auf Basis von Literaturstudien monetär bewertet und zusammengestellt. Hierbei wurden die Waldflächen der Stadt Wuppertal sowie die der Wuppertaler Forstbetriebsgemeinschaft betrachtet.

Den prozentual größten Anteil am Gesamtergebnis erlangte in dieser Studie die Erholungsleistung gefolgt vom Artenschutz. Der CO₂- Adsorption sowie der O₂-Produktion konnten in dieser Arbeit zwar nur verhältnismäßig geringe monetärere Werte beigemessen werden, jedoch ist ihre Relevanz in klimapolitischer Hinsicht nicht zu vernachlässigen. Einen im Vergleich sehr geringen Anteil erzielen die Holzerlöse, die einzige tatsächlich honorierte Leistung des Waldes.

Durch die Berechnung der Leistungen des Waldes hinsichtlich der Luftverbesserung, der Verbesserung der Trinkwasserqualität, der Förderung von Biodiversität sowie Lärmschutz und Siedlungswertsteigerung, des Erosions- und Lärmschutzes und mit größtem Anteil der Erholungsleistung ergaben sich Werte von 23.349.970,57 €/Jahr (Hektarwert von durchschnittlich 13.259,26 €/ha/a) für die Stadt Wuppertal sowie 13.850.991,35 € je Jahr für die Forstbetriebsgemeinschaft (Hektarwert von 13.005,51€/ha/a). Die enorme Bedeutung einer naturnahen und nachhaltigen Forstwirtschaft wurde unterstrichen. Sie ist

das Stellrad zur Förderung und Erhalt vielfältiger und lebenswichtiger Ökosystemleistungen in der urbanen Region.

Literaturverzeichnis

- ABRAHAM, A., SOMMERHALDER, K., BOLLIGER-SALZMANN, H., ABEL, T. (2007). Landschaft und Gesundheit -Das Potential einer Verbidnung zweier Konzepte. Universität Bern. Online verfügbar unter http://p285140.mittwaldserver.info/sites/default/files/upload/Gesundheitsforschung%20Uni%20Bern_Landschaft%20und%20Gesundheit.pdf (abgerufen am 31.12.2020).
- ADAMOWICZ, W., SWAIT, J., BOXALL, P., LOUVIERE, J., WILLIAMS, M. (1997). Perceptions versus Objective Measures of Environmental Quality in Combined Revealed and Stated Preference Models of Environmental Valuation. *Journal of Environmental Economics and Management* 32 (1), 65–84. <https://doi.org/10.1006/jeem.1996.0957>.
- ASCHE, N. (2015). Waldleistungen und Waldprodukte. Versuch einer monetären Bewertung am Beispiel der Wälder im Gebiet der Stadt Hagen. Göttingen, Cuvillier Verlag, internationaler wissenschaftlicher Fachverlag.
- ASCHE, N. (2020). Wald und menschliche Gesundheit. *AFZ- Der Wald* (17), 23–25.
- BADE, T., TONNEICK, F., VAN MIDDENDORP, B. (2008). De kroon op het werk. Werken aan het juiste klimaat voor mensen en bomen. Arnhem, Triple E Productions.
- BAFU UND WSL (2013). Die Schweizer Bevölkerung und ihr Wald - Bericht zur zweiten Bevölkerungsumfrage. Waldmonitoring soziokulturell. BBL, Vertirieb Bundespublikation. Bern. Online verfügbar unter https://www.infothek-biomasse.ch/images//248_2013_BAFU_Die_Schweizer_Bevoelkerung_und_ihr_Wald.pdf (abgerufen am 03.01.2021).
- BARTON, J., GRIFFIN, M., PRETTY, J. (2012). Exercise-, nature- and socially interactive-based initiatives improve mood and self-esteem in the clinical population. *Perspectives in public health* 132 (2), 89–96. <https://doi.org/10.1177/1757913910393862>.
- BARTON, J., PRETTY, J. (2010). What is the best dose of nature and green exercise for improving mental health? A multi-study analysis. *Environmental science & technology* 44 (10), 3947–3955. <https://doi.org/10.1021/es903183r>.
- BAUR, B. (2003). Freizeitaktivitäten im Baselbieter Wald. Ökologische Auswirkungen und ökonomische Folgen. Liestal, Verl. des Kantons Basel-Landschaft.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (2019). Biotopbäume und Totholz. LWF-Merkblatt (17). Online verfügbar unter https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/service/dateien/mb17-biotopbaeume-2019_bf.pdf (abgerufen am 02.01.2021).
- BERGEN, V., LÖWENSTEIN, W., PFISTER, G. (1992). Studien zur monetären Bewertung von externen Effekten der Forst- und Holzwirtschaft. Frankfurt am Main, Sauerländer.
- BERGEN, V., LÖWENSTEIN, W., PFISTER, G. (1995). Studien zur monetären Bewertung von externen Effekten der Forst- und Holzwirtschaft. 2. Aufl. Frankfurt am Main, J.D. Sauerlhander.
- BERNASCONI, A., SCHROFF, U., ZAHND, C. (2003). Erholung und Walddynamik. Belastung unnd Belastbarkeit der Erholungswälder in der Region Bern. Bern.

- BETRIEBSWERK STADT WUPPERTAL (2013). Betriebswerk für den Forstbetrieb Stadt Wuppertal. Stichtag 01.01.2013. Wuppertal.
- BISHOP, K. (1992). Assessing the benefits of community forests: an evaluation of the recreational use benefits of two urban fringe Woodlands. *Journal of Environmental Planning and Management* 35 (1), 63–76.
<https://doi.org/10.1080/09640569208711908>.
- BORJANS, R. (1983). Immobilienpreise als Indikatoren der Umweltbelastungen durch den städtischen Kraftverkehr. Zugl.: Köln, Univ., Diss., 1983. Düsseldorf, Verkehrs-Verl. Fischer.
- BRAUSSEUR, Guy P./JACOB, Daniela/SCHUCK-ZÖLLER, Susanne (Hg.) (2017). Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Springer.
- BUNDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND ERNÄHRUNG (2018). Bericht zur Markt- und Versorgungslage. Fleisch. Bonn. Online verfügbar unter https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Daten-Berichte/Fleisch/2018BerichtFleisch.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (abgerufen am 01.01.2021).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (2014). Indikatorenbericht 2014 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt. Paderborn, Bonifatius GmbH.
- BÜRGI, A., SPJEVAK, S. (2009). Grundwasserschutz im Wald kostet! *Wald und Holz* (2), 30–33. Online verfügbar unter https://www.waldwissen.net/assets/wald/boden/wsl_grundwasserschutz/download/wsl_grundwasserschutz_originalartikel.pdf.pdf (abgerufen am 23.12.2020).
- BURSCHEL, P., WEBER, M. (2001). Wald - Forstwirtschaft - Holzindustrie. Zentrale Größen der Klimapolitik. *Forstarchiv* (72), 75–85. Online verfügbar unter <https://mediatum.ub.tum.de/doc/684559/file.pdf> (abgerufen am 02.01.2021).
- BUWAL (2005a). Der monetäre Erholungswert des Waldes. *Umwelt-Materialien* (193). Online verfügbar unter https://www.kora.ch/malme/05_library/5_1_publications/N_and_O/Ott & Baur 2005_Der_monetaere_Erholungswert_des_Waldes.pdf (abgerufen am 03.01.2021).
- BUWAL (2005b). Grundwasserschutz im Wald. Merkblatt Vollzug Umwelt.
- DEGENHARDT, S. (1998). Zahlungsbereitschaft für Naturschutzprogramme - Potential und Mobilisierungsmöglichkeiten am Beispiel von drei Regionen; Endbericht des F & E-Vorhabens Nr. 10101121. Bonn-Bad Godesberg.
- DIESTEL, S., WEIMAR, H. (2014). Der Kohlenstoffgehalt in Holz- und Papierprodukten – Herleitung und Umrechnungsfaktoren. Thünen-Institut für Internationale Waldwirtschaft und Forstökonomie. Hamburg. Online verfügbar unter https://www.thuenen.de/media/publikationen/thuenen-workingpaper/ThuenenWorkingPaper_38.pdf (abgerufen am 02.01.2021).
- ELSASSER, P. (1996). Der Erholungswert des Waldes. Monetäre Bewertung der Erholungsleistung ausgewählter Wälder in Deutschland. Zugl.: Hamburg, Univ., Diss., 1995. Frankfurt am Main, Sauerländer.
- Europäische Kommission (2019). Nitrat im Grundwasser: Kommission mahnt Deutschland zur Umsetzung des EuGH-Urteils - Deutschland - European Commission. Online verfügbar unter https://ec.europa.eu/germany/news/20190725-nitrat_de (abgerufen am 29.12.2020).

- Europäische Umweltagentur (2017). Luftverschmutzung. Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/de/themes/air/intro> (abgerufen am 18.12.2020).
- EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (2006). Richtlinie 2006/118/EG des europäischen Parlaments und des Rates zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung.
- European Energy Exchange AG (2020). Spotmarkt. European Emmission Allowances. Online verfügbar unter <https://www.eex.com/de/marktdaten/umweltprodukte/spotmarkt> (abgerufen am 02.01.2021).
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2014). Noise in Europe 2014. EEA Report (10).
- EU-UMGEBUNGSLÄRMRICHTLINIE (2002). Richtlinie 2002/49/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm.
- FENNER, D.,MÜCKE, H.,SCHERER, D. (2015). Innerstädtische Lufttemperatur als Indikator gesundheitlicher Belastungen in Großstädten am Beispiel Berlins. UMID (1), 30–38. Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/innerstaedische_lufttemperatur_30-38.pdf (abgerufen am 28.12.2020).
- FISCHER, M.,WILLERT, M. (2013). Identifizierung von Waldfunktionen bzw. -leistungen als Teil der grünen Infrastruktur und ihre ökonomische Bewertung - Fallbeispiel: Wald im Stadtgebiet Remscheid. Lemgo, Hochschule Ostwestfalen-Lippe.
- FORSTPLANUNGSWERK FÜR DEN STADTWALD WUPPERTAL (2013). Anlage 1 - Forstplanungswerk für den Stadtwald Wupperta, 01.01.2013 bis 31.12.2022. Stand 01.01.2013. Stadt Wuppertal. Wuppertal.
- FRISCHE, K. (2020, 26.11). Holzmengen der FBG. Schriftliche Mitteilung, 2020, 26.11. Wuppertal.
- GASSER, G. (1997). Aktivitäten der städtischen Forstverwaltung Liestal (BL) in der Wahrnehmung von Waldbesucherinnen und Waldbesucher. Zürich. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-A-004260554>.
- GETZNER, M. (1998). Onsite Vs. Distant Questioning: Some Empirical Evidence from Valuing Recreation Functions of City-near Forests. Klagenfurt, Universität Klagenfurt.
- GODAU, M. (2009). Der Wald ist voller Wörter. Ganzheitliche Sprachförderung in der Natur. Mülheim an der Ruhr, Verl. an der Ruhr.
- HAMPICKE, Ulrich/SCHULZ, Werner (Hg.) (1991). Kosten und Wertschätzung des Arten- und Biotopschutzes. Forschungsbericht 10103110/04. Berlin, Schmidt.
- HARTIG, T.,EVANS, G. W.,JAMNER, L. D.,DAVIS, D. S.,GÄRLING, T. (2003). Tracking restoration in natural and urban field settings. Journal of Environmental Psychology 23 (2), 109–123. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(02\)00109-3](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(02)00109-3).
- HARTJE, Volkmar/WÜSTEMANN, Henry/BONN, Aletta (Hg.) (2015). Naturkapital und Klimapolitik. Synergien und Konflikte. Berlin/Leipzig, Technische Universität Berlin; Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ.
- HEGG, Christoph (2005). Der Wald als Filter für Trinkwasser. Neue Zürcher Zeitung. Online verfügbar unter <https://www.nzz.ch/articleCPZJA-1.167027> (abgerufen am 23.12.2020).

- HOELZEL, Markus (2009). Natürlich Holz – Forst- und Holzwirtschaft in Deutschland. 3. Aufl. Bonn 2009. Online verfügbar unter <http://decke-wand-boden.de/downloads/forstundholzwirtschaftindeutschlandh084.pdf> (abgerufen am 31.12.2020).
- HOLM-MÜLLER, K. (1991). Die Nachfrage nach Umweltqualität in der Bundesrepublik Deutschland. Deutschland; IfS Institut für Stadtforschung und Strukturpolitik. Berlin. Forschungsbericht / Umweltbundesamt UBA-FB 90-122.
- HUSQVARNA GROUP (2013). Global green space report - Exploring our relationship to forests, parks and gardens around the globe. Stockholm. Online verfügbar unter https://2020vision.com.au/media/1025/husqvarna_global_green_space_report_2013-1.pdf (abgerufen am 03.01.2021).
- IPCC (2007). Climate change 2007: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. A report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, IPCC, WMO.
- Johann Heinrich von Thünen-Institut (Hrsg.) (2019). Wald in Deutschland - Wald in Zahlen. Ergebnisse der Kohlenstoffinventur 2017. Braunschweig 2019. Online verfügbar unter https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Downloads/CI_2017/2019-04_FlyerKohlenstoffinventur2017_final.pdf (abgerufen am 31.12.2020).
- JUNG, M. (1996). Präferenzen und Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Umweltqualität im Agrarbereich. Zugl.: Hohenheim, Univ., Diss., 1996. Frankfurt am Main, Lang.
- KARJALAINEN, E., SARJALA, T., RAITIO, H. (2010). Promoting human health through forests: overview and major challenges. Environmental health and preventive medicine 15 (1), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s12199-008-0069-2>.
- KLEIBER, O. (2006). Monetäre Bewertung von Erholungsnutzen und Nutzerkonflikten in stadtnahen Wäldern. Konzeption und empirische Prüfung am Beispiel des Allschwiler Waldes. Zugl.: Lüneburg, Univ., Diss., 2005. Marburg, Tectum Verl.
- KLEIN, C. (2002). Die monetäre Bewertung der Walderholung mittels der Contingent-Valuation-Method - Eine kritische Analyse theoretischer und anwendungsbezogener Bewertungsaspekte. Arbeitsbericht. Freiburg, Albert-Ludwig-Universität. Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/58298/1/356800741.pdf> (abgerufen am 03.01.2021).
- KLEINHÜCKELKOTTEN, S., WIPPERMANN, C. (2006). Anschlussfähigkeit des Leitbilds „Nachhaltige Waldwirtschaft“ in der Bevölkerung.
- KUNZ, M., MOHR, S., WERNER, P. (2017). Niederschlag. In: Guy P. Brauseur/Daniela Jacob/Susanne Schuck-Zöller (Hg.). Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Berlin, Springer, 57–64.
- KÜPKER, M., KÜPPERS, J.-G., ELSASSER, P., THROE, C. (2005). Sozioökonomische Bewertung von Maßnahmen zur Erhaltung und Förderung der biologischen Vielfalt der Wälder. Hamburg, Universität Hamburg.
- Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (2020). Monitor Siedlungs- und Freiraumentwicklung (IÖR-Monitor). Indikatorkennblatt Grünflächenausstattung pro Einwohner. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. Online verfügbar

- unter http://www.ioer-monitor.de/?id=44&ID_IND=O02MT (abgerufen am 30.12.2020).
- LI, Q. (2010). Effect of forest bathing trips on human immune function. *Environmental health and preventive medicine* 15 (1), 9–17. <https://doi.org/10.1007/s12199-008-0068-3>.
- LI, Q., KOBAYASHI, M., KAWADA, T. (2008). Relationships Between Percentage of Forest Coverage and Standardized Mortality Ratios (SMR) of Cancers in all Prefectures in Japan. *The Open Public Health Journal* 1 (1), 1–7. <https://doi.org/10.2174/1874944500801010001>.
- LOHMANN, U. (2012). *Holz-Handbuch*. 7. Aufl. [Leinfelden-Echterdingen], DRW-Verlag.
- LÖWENSTEIN, W. (1994). Die Reisekostenmethode und die bedingte Bewertungsmethode als Instrumente zur monetären Bewertung der Erholungsfunktion des Waldes. Ein ökonomischer und ökonometrischer Vergleich. Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 1994. Frankfurt am Main, Sauerländer.
- LWI (2014). Landeswaldinventur 2014. Münster. Online verfügbar unter https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Presse/Dokumente/Broschuere_WuH_Landeswaldinventur-2014.pdf (abgerufen am 30.09.2020).
- MEA (2005). *Millenium Ecosystem Assessment Ecosystems and human well-being. Synthesis*. Washington DC, Island Press.
- MERKER, K. (2010). Entwicklung von Märkten – unternehmerische Umsetzung am Beispiel Trinkwasser in Niedersachsen | Creating markets – entrepreneurial implementation by the example of drinking water in Lower Saxony. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 161 (9), 368–373. <https://doi.org/10.3188/szf.2010.0368>.
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes NRW (2020). *Waldbewirtschaftung*. Online verfügbar unter <https://www.umwelt.nrw.de/naturschutz/wald/waldbewirtschaftung/> (abgerufen am 02.01.2021).
- Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden- Württemberg (2018). *Städtebauliche Lärmfibel. Hinweise für die Bauleitplanung*. Online verfügbar unter <https://www.staedtebauliche-laermfibel.de/?p=71&p2=7.1.6> (abgerufen am 10.12.2020).
- MÖHRING, B., RÜPING, U. (2006). *Bewertungskonzept für forstliche Nutzungsbeschränkungen*. Frankfurt am Main, Sauerländer.
- MOOG, M., PÜTTMANN, F. (1986). Überlegungen zzur Bewertung von minderung der Bodenschutzleistung des Waldes mit praktischem Beispiel. *Der Forst- und Holzwirt* 41 (6).
- MÜLLER, C., IBER, C., NIED, M., HOY, A., JUNGHÄNEL, T. (2018). Starkregen und Sturzfluten - Erfassen, Erforschen, Evaluieren. Beiträge zum Seminar am 6. Juni 2018 an der Technischen Universität München. *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* (40). <https://doi.org/10.14617/for.hydrol.wasbew.40.18>.
- NEIDLEIN, H.-C./WALSER, M./LANZ, P./LENGEFELD, M./SCHNELL, K.-D./MILLER, U./Marx/T. (2004). *Finanzierungshandbuch für Naturschutzmaßnahmen 2004*. Online verfügbar unter https://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/foerderung/broschuere_finanzierungs_hdb-oV.pdf (abgerufen am 02.01.2021).

- NIEMANN, H., HOBEL, J., HAMMERSEN, F., LAUBMANN, D. (2014). Lärmbelastigung – Ergebnisse der GEDA-Studie 2012 5 (4). Online verfügbar unter https://www.rki.de/DE/Content/Gesundheitsmonitoring/Gesundheitsberichterstattung/GBEDownloadsK/2014_4_laerm.pdf?__blob=publicationFile.
- Norddeutscher Rundfunk (Hrsg.) (2019). Wild: Köstliches von Reh, Hirsch und Co. Hamburg.
- OLSCHEWSKI, R. (1997). Nutzen-Kosten-Analyse des Wasserschutzes durch eine Aufforstung. Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 1997. Frankfurt am Main, Sauerländer.
- PAUL, C.-F. (2020). Inwertsetzung der Ökosystemleistungen von Wäldern am Beispiel des Waldgebietes Haard. Göttingen.
- PRETZSCH, H. (2014). Ertragstafel-Korrekturfaktoren für Umwelt- und Mischungseffekte. AFZ der Wald (14), 47–50. <https://doi.org/10.1038/ncomms5967>.
- PRÜBE, U., VORLOP, K.-D. (1996). Entfernung von Nitrat aus Trinkwasser. CHEMKON 3 (2), 62–67.
- RABE, S. (2020a). Abgang der Fichte durch den Borkenkäfer. Mündliche Mitteilung, 2020. Wuppertal.
- RABE, S. (2020b). Trinkwasserschutzgebiet in Wuppertal. Mündliche Mitteilung, 2020. Wuppertal.
- RAT DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN (1991). Richtlinie des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen. (91/676/EWG). Brüssel, Belgien, Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften.
- RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (1998). Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0083&rid=1%20> (abgerufen am 22.12.2020).
- RICKLI, Christian/GRAF, Frank/GERBER, Werner/FREI, Martin/BÖLL, Albert (Hg.) (2004). Der Wald und seine Bedeutung bei Naturgefahren geologischen Ursprungs. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- RINK, D., ARNDT, T. (2011). Urbane Wälder: Ökologische Stadterneuerung durch Anlage urbaner Waldflächen auf innerstädtischen Flächen im Nutzungswandel - Ein Beitrag zur Stadtentwicklung in Leipzig. UFZ - Bericht. Leipzig. Online verfügbar unter https://www.ufz.de/export/data/2/100292_ufz_bericht_03_2011.pdf (abgerufen am 03.01.2021).
- RUST, S. (2019). Professor der HAWK Hochschule Hildesheim/Holzwinden/Göttingen an der Fakultät Ressourcenmanagement. Schriftliche Mitteilung, 30.09.2019.
- SATTLER, K. (2001). Thermische Trennverfahren. Grundlagen, Auslegung, Apparate. 3. Aufl. Weinheim/Chichester, VCH.
- SCHELBERT-SYFRIG, H. (1988). Wertvolle Umwelt - ein wirtschaftswissenschaftlicher Beitrag zur Umweltschätzung in Stadt und Agglomeration Zürich.
- SCHMIDT, O. (2015). Naturnahe Forstwirtschaft fördert Artenvielfalt. LWF aktuell (104), 12–16. Online verfügbar unter http://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/waldbau-bergwald/dateien/a104_naturnahe_forstwirtschaft_foerdert_artenvielfalt_bf_gesch.pdf (abgerufen am 02.01.2021).

- SCHOBER, R. (1995). Ertragstabeln wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. 4. Aufl. Frankfurt am Main, Sauerländer.
- SCHÜSSELE, J. (1995). Bewertung der Erholungsfunktion des Waldes um den „Kneip- und Luftkurort Ziegenhagen“. Diplomarbeit. Göttingen, FH Hildesheim/Holzminden/Göttingen.
- Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (2020a). Waldfunktionen. Online verfügbar unter <https://www.sdw-rems-murr.de/mein-wald/waldfunktionen/schutzfunktion/> (abgerufen am 02.01.2021).
- Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (Hrsg.) (2020b). WALDWISSEN - Ökosystem Wald - Waldleistungen - Was leistet der Wald für uns? Online verfügbar unter <https://www.sdw.de/waldwissen/oekosystem-wald/waldleistungen/index.html> (abgerufen am 22.12.2020).
- SCHWATLO, J. (1994). Neuplanung und Bewertung der Erholungsinfrastruktur am Beispiel des Stadtwaldes Mühlheim. Diplomarbeit. Göttingen, Georg-August-Universität.
- SCHWEPPE-KRAFT, B., HABECK, K., SCHMITZ, T. (1989). Ökonomische Bewertung von Eingriffen in Natur und Landschaft. Am Beispiel Industriegebiet Schichauweg, Berlin (West). Berlin, Techn. Univ. Univ.-Bibliothek Abt. Publ.
- SEINTSCH, B., ROSENKRANZ, L., ENGLERT, H., DIETER, M., WIPPEL, B., BECKER, G., STRATMANN, J., GERST, J., MÖHRING, B. (2012). FFH-Impact: Teil 2: Auswirkungen von FFH-Maßnahmenplanungen auf Forstbetriebe.
- SIEBERTH, L. (2014). Inwertsetzung von Ökosystemdienstleistungen. Eine objektive Bewertung auf lokaler Ebene (Remscheid). Studie. Online verfügbar unter <http://www.waldgenossenschaft-remscheid.de/wp-content/uploads/2016/05/kosystemleistungen-W-lder-im-Stadtgebiet-Remscheid.pdf> (abgerufen am 10.12.2020).
- SIEVÄNDEN, T., POUTA, E., OVASKAINEN, V. (1992). Problems of measuring recreation value given everyman's rights. Scandinavian Forest Economics (33), 231–243.
- STADT WUPPERTAL (2020). Daten und Fakten. Stadtporträt. Online verfügbar unter https://www.wuppertal.de/wirtschaft-stadtentwicklung/daten_fakten/index.php (abgerufen am 30.12.2020).
- STADT WUPPERTAL (2020b). Holzstatistik. Erstellt durch Rabe, Sebastian (Abteilungsleiter Forsten, Stadt Wuppertal). Wuppertal.
- Stadt Wuppertal (2020c). Privatwaldbetreuung. Online verfügbar unter <https://www.wuppertal.de/vv/produkte/103/Privatwaldbetreuung.php> (abgerufen am 20.12.2020).
- Stadt Wuppertal (2020d). Wälder in Wuppertal. Fakten. Online verfügbar unter https://www.wuppertal.de/tourismus-freizeit/gruenes_wuppertal/waelder/waelder.php (abgerufen am 01.12.2020).
- TAKANO, T., NAKAMURA, K., WATANABE, M. (2002). Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces. Journal of epidemiology and community health 56 (12), 913–918. <https://doi.org/10.1136/jech.56.12.913>.
- TEEB DE (2016). Ökosystemleistungen in der Stadt. Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen. Leipzig/Berlin, Naturkapital Deutschland - TEEB DE.

- THEAKSTON, Frank (Hg.) (2011). Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe.
- THORMANN, J.-J./SCHWITTER, R. (Hg.) (2004). Nachhaltigkeit im Schutzwald (NaiS). Nachhaltige Schutzwaldpflege und Waldbauliche Erfolgskontrolle, Internationales Symposium, Riva/ Trient.
- Trinkwasserwald® e.V. (2019). Auszug aus der Expertise „Waldstruktur und Wasserhaushalt“ von Prof.Dr. Steffen Rust. Online verfügbar unter <https://www.trinkwasserwald.de/themen-und-aktionen/wasser/waldstruktur-und-wasserhaushalt/> (abgerufen am 29.12.2020).
- UFLACKER, J. (1995). Bewertung der Erholungsfunktion verschiedener Waldbesitzarten im Kaufunger Wald. Diplomarbeit. Göttingen, FH Hildesheim/Holzminde/Göttingen.
- Umweltbundesamt (2020). FAQs zu Nitrat im Grund- und Trinkwasser. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/grundwasser/nutzung-belastungen/faqs-zu-nitrat-im-grund-trinkwasser#warum-ist-der-grenzwert-der-trinkwasserverordnung-von-50-milligramm-nitrat-je-liter-im-trinkwasser-aus-gesundheitlichen-grunden-wichtig> (abgerufen am 22.12.2020).
- V. ALVENSLEBEN, R.,SCHLEYERBACH, K. (1994). Präferenzen und Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung für Naturschutz- und Landschaftspflegeleistungen der Landwirtschaft. Berichte über Landwirtschaft (72), 524–532.
- VALENCAK, T.,TATURUCH, F.,STEINECK, T.,ARNOLD, W. (2006). Wie gesund ist Wildbret? Fettsäurezusammensetzung, Umweltschadstoffe und Gefahr von Zoonosen. Medizin und Umwelt, 911–920. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/profile/Teresa_Valencak/publication/289059655_How_healthy_is_game_meat_Fatty_acid_composition_pollutants_and_threat_of_zoonoses/links/59660f0ea6fdcc85dd3ba048/How-healthy-is-game-meat-Fatty-acid-composition-pollutants-and-threat-of-zoonoses.pdf (abgerufen am 04.01.2021).
- Wald & Holz NRW (2020). Lärmschutzwald | Wald & Holz. Online verfügbar unter <https://www.wald-und-holz.nrw.de/waldinfo/laermschutzwald> (abgerufen am 31.12.2020).
- WALD & HOLZ NRW (Hg.) (2019). Die neue Waldfunktionenkarte für Nordrhein-Westfalen. Münster. Online Verfügbar unter <https://www.wald-und-holz.nrw.de/aktuelle-meldungen/die-neue-waldfunktionenkarte-fuer-nordrhein-westfalen> (abgerufen am 30.12.2020)
- WALD & HOLZ NRW (Hg.) (2019b). Waldfunktionen Nordrhein-Westfalen. Grundsätze und Verfahren zur Ermittlung der Waldfunktionen. Münster. Online verfügbar unter https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Publikationen/Broschueren/20190910_wuh_Broschuere_Waldfunktionenkarte_web.pdf (abgerufen am 11.12.2020).
- Weltgesundheitsorganisation (2018). Neue Leitlinien der WHO für Lärmbelastung veröffentlicht. Online verfügbar unter <https://www.euro.who.int/de/media-centre/sections/press-releases/2018/press-information-note-on-the-launch-of-the-who-environmental-noise-guidelines-for-the-european-region> (abgerufen am 10.12.2020).
- Weltgesundheitsorganisation (2020). Überwindung der Luftverschmutzung zum Schutz der Gesundheit: Weltumwelttag 2019. Online verfügbar unter

<https://www.euro.who.int/de/health-topics/environment-and-health/pages/news/news/2019/6/beat-air-pollution-to-protect-health-world-environment-day-2019> (abgerufen am 18.12.2020).

- WENDT, C. (2012). Gesundheit und Gesundheitssystem. In: Gene I. Sher (Hg.). Handwörterbuch zur gesellschaft Deutschlands. [Place of publication not identified], Vs Verlag Für Sozialwissenschaft, 344–361.
- WILLIS, K. G. (1991). The recreational value of the forestry commission estate in Great Britain: A Clawson-Knetsch travel cost analysis. *Scottish Journal of Political Economy* 38 (1), 58–75. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9485.1991.tb00301.x>.
- WILLIS, K. G., BENSON, J. (1989). Values of user benefits of forest recreation - Some further site surveys. Edingburgh, University of Newcastle upon Tyne.
- WIPPERMANN, C., WIPPERMANN, K. (2010). Mensch und Wald. Einstellungen der Deutschen zum Wald und zur nachhaltigen Waldwirtschaft. Bielefeld, wbv.
- WISSENBERG, M. (2019). Inwertsetzung der Ökosystemleistungen von Wäldern am Beispiel der Stadt Solingen. Göttingen.
- WÖRDEHOFF, R. (2016). Kohlenstoffspeicherung als Teilziel der strategischen Waldbauplanung. erläutert an Reinbeständen verschiedener Baumarten in Niedersachsen. Dissertation. Göttingen, Georg-August-Universität. Online verfügbar unter <https://d-nb.info/1111100837/34> (abgerufen am 02.01.2021).
- WORRESCHK, B. (2000). Wirksamkeit von Hochwasservorsorge- und Hochwasserschutzmaßnahmen. Schwerin, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA).
- Zensusdatenbank (2011). Gesamtzahl der privaten Haushalte nach Größe des privaten Haushalts. Statistische Ämter des Bundes und der Länder. Online verfügbar unter https://ergebnisse.zensus2011.de/#StaticContent:05124000000,GWZ_4_1_0,m,t,able.
- ZWINTZ, R. (1986). Zur Monetären Bewertung volkswirtschaftlicher Kosten durch die Grundwasserverschmutzung. In: Kosten der Umweltverschmutzung : Tagungsband zum Symposium im Bundesministerium des Innern am 12. und 13. September 1985. Berlin, Schmidt, 253–271.

Anhang

Anhangsverzeichnis

Tabelle I: Verfahrenskosten für die Nitratfilterung aus Trinkwasser, übernommen nach PAUL(2020)	II
Tabelle II: Berechnung der Besuchszahl nach HUSQVARNA GROUP (2013)	II
Tabelle III: Berechnung a) der Besuchszahl nach BAFU UND WSL (2013)	II
Tabelle IV: Berechnung der Besuchszahl nach RINK und ARNDT (2011)	III
Tabelle V: Berechnung der Besuchszahl nach WIPPERMANN und WIPPERMANN (2010)	III
Tabelle VI: Berechnung der Besucherzahl nach BUWAL (2005A)	III
Tabelle VII: Berechnung der Besucherzahl nach GASSER (1997)	IV
Tabelle VIII: Berechnung der Besuchszahl nach ASCHE (2015)	IV
Tabelle IX: „Jährliche Abgabe“ erholungswert in €/Besucher/Jahr, übernommen von WISSENBERG (2019)	IV
Tabelle X: Berechnung „Tägliche Abgabe“ Erholungswert €/Besucher/Tage, übernommen von WISSENBERG (2019)	IV
Tabelle XI: Zahlungsbereitschaft für Artenschutz und Biodiversität, nach SIEBERTH (2014)	V
Tabelle XII: Berechnung der CO ₂ Senkenleistung der Stadt Wuppertal	VI
Tabelle XIII: Berechnung der CO ₂ -Senkenleistung der Forstbetriebsgemeinschaft Wuppertal	VII
Abbildung I: Eigene Darstellung des ausgewiesenen Erosionsschutzwaldes mittels ArcGIS	VIII
Abbildung II: Eigene Darstellung der Waldfläche mit Lärmindernder Wirkung mittels ArcGIS	IX
Berechnung I: Berechnung des korrigierten Niederschlags am Beispiel der Stadt Wuppertal (übertragbar auf die Flächen der FBG)	X

Tabelle I: Verfahrenskosten für die Nitratfilterung aus Trinkwasser, übernommen nach PAUL(2020)

Verfahren	Kosten	Quelle
Elektrolytische Nitratreduktion	0,08 €/m ³	OLSCHEWSKI (1997)
Ionenaustauschverfahren	0,28 – 0,65 €/m ³	
Membranverfahren	0,28 – 0,62 €/m ³	
Biologische Verfahren	0,10 – 0,51 €/ m ³	ZWINTZ (1986)
Verschiedene	0,15 – 0,82€/ m ³	

Tabelle II: Berechnung der Besuchszahl nach HUSQVARNA GROUP (2013)

Husqvarna Group (2013)	mehrmals die Woche	einmal die Woche	Einmal im Monat	einmal oder weniger im Quartal	niemals	weiß es nicht
Prozent der Deutschen	15%	19%	26%	33%	4%	4%
Waldbesuche	162.978,30	68.813,06	94.165,24	119.517,42	14.486,96	
Pro Jahr	8.474.871,60	3.578.279,12	1.129.982,88	478.069,68	/	/
Waldbesuche gesamt/ Jahr	13.661.203,28					
Personen ohne Waldbesuch	28.973,92					
Anzahl Waldbesucher	333.200,08					

Tabelle III: Berechnung a) der Besuchszahl nach BAFU UND WSL (2013)

BAFU und WSL (2013)	Sommer Besucher	Prozent (Sommer)	Besuche Sommer	Winter Besucher	Prozent (Winter)	Besuche Winter
fast täglich	43.460,88	12%	5.649.914,40	28.973,92	8%	3.766.609,60
1-2-mal die woche	152.113,08	42%	5.932.410,12	101.408,72	28%	3.954.940,08
1-2 mal im monat	101.408,72	28%	912.678,48	94.165,24	26%	847.487,16
<1 mal im Monat	43.460,88	12%	130.382,64	76.056,54	21%	228.169,62
nie	21.730,44	6%	/	65.191,32	18%	/
Gesamtbesuche Sommer	12.625.385,64					
Gesamtbesuche Winter	8.797.206,46					
Gesamtbesuche	21.422.592,10					
Personen ohne Waldbesuch	21.730,44					
Anzahl Waldbesucher	340.443,56					

Tabelle IV: Berechnung der Besuchszahl nach RINK und ARNDT (2011)

Besuchshäufigkeit des Stadtwalds	regelmäßig [3x/woche]	ab und zu [1x/Woche]	eher selten [1x/Monat]	fast nie [2x/Jahr]
Prozent	17,1%	48,7%	21,5%	12,7%
Anteil	61.931,75	176.378,74	77.867,41	45.996,10
Besuche/Jahr	9.661.353,62	9.171.694,38	934.408,92	91.992,20
Waldbesuche gesamt	19.859.449,12			
Anzahl Waldbesucher	362174			

Tabelle V: Berechnung der Besuchszahl nach WIPPERMANN und WIPPERMANN (2010)

Besuchshäufigkeit von Stadtwald	regelmäßig [3x/Woche]	einnmal/ Woche	einmal alle 14 Tage	einmal/ Monat	seltener	gar nicht
Prozentualer Anteil	10%	13%	11%	13%	37%	16%
Anteil	36.217,40	47.082,62	39.839,14	47.082,62	134.004,38	57.947,84
Besuche/Jahr	5.649.914,40	2.448.296,24	1.035.817,64	564.991,44	268.008,76	0,00
Gesamtbesuche/ Jahr	9.967.028,48					
Anzahl Waldbesucher	304.226,16					
Personen ohne Waldbesuch	57.947,84					
Anzahl Waldbesucher	304.226,16					

Tabelle VI: Berechnung der Besucherzahl nach BUWAL (2005A)

BUWAL (2005)	Besuche/ Einheit	Besuche/ Halbjahr				
fast täglich	5	130				
1-2x/ Woche	1,5	39				
1-2x/ Monat	1,5	9				
<1x/ Monat	1	3				
nie	0	0				
Häufigkeit Waldbesuch	Anteil im Sommer	Prozent (Sommer)	Besuche (Sommer)	Anteil im Winter	Prozent (Winter)	Besuche (Winter)
fast täglich	48.893,49	13,5%	6.356.153,70	32.595,66	9,00%	4.237.435,80
1-2x/ Woche	160.443,08	44,3%	6.257.280,20	104.668,29	28,90%	4.082.063,15
1-2x/ Monat	105.754,81	29,2%	951.793,27	121.328,29	33,50%	1.091.954,61
<1x/ Monat	33.320,01	9,2%	99.960,02	59.034,36	16,30%	177.103,09
nie	13.400,44	3,7%	0,00	44.185,23	12,20%	0,00
Gesamtbesuche Sommer	13.665.187,19					
Gesamtbesuche Winter	9.588.556,65					
Gesamtbesuche	23.253.743,84					
Personen ohne Waldbesuch	13.400,44					
Anzahl Waldbesucher	348.773,56					

Tabelle VII: Berechnung der Besucherzahl nach GASSER (1997)

Waldbesuchshäufigkeit	Sehr häufig [3x/Woche]	Häufig [1x/Woche]	Selten [1x/Monat]	Sehr selten [2x/Jahr]
Prozent	29%	45%	19%	7%
Anteil	105.030,46	162.978,30	68.813,06	25.352,18
Besuche	16.384.751,76	8.474.871,60	825.756,72	50.704,36
Waldbesuche Gesamt	25.736.084,44			

Tabelle VIII: Berechnung der Besuchszahl nach ASCHE (2015)

50% der Einwohner besuchen in 40 Wochen/Jahr 1 mal die Woche den Wald	
Besucher	181.087,00
Besuche/Besucher/Jahr	40,00
Besuche/Jahr	7.243.480,00

Tabelle IX: „Jährliche Abgabe“ erholungswert in €/Besucher/Jahr, übernommen von WISSENBERG (2019)

Wertspanne [€/Besucher/a]	Wertansatz [€/Besucher/a]	Methode	Quelle
12,29	12,29	CVM	KLEIBER (2006)
32,76	32,76	TCM	KLEIBER (2006)
12,29-81,9	47,1	CVM	BAUR (2003)
43,41	43,41	CVM	BERNASCONI ET AL. (2003)
51,51-58,29	54,9	CVM	ELSASSER (1996)
323,97	323,97	n.B.	BERGEN ET AL. (1995)
51,1	51,1	n.B.	KLEIN (2002)
40,97-59,77	50,37	CVM	BISHOP (1992)
352,17	352,17	CVM	SCHELBERT-SYFRIG (1988)
307,1	307,1	TCM	SCHELBERT-SYFRIG (1988)
327,6	327,6	n.B.	SCHELBERT-SYFRIG (1988)
Mittelwert	146,25		

Tabelle X: Berechnung „Tägliche Abgabe“ Erholungswert €/Besucher/Tage, übernommen von WISSENBERG (2019)

Wertspanne [€/Besucher/a]	Wertansatz [€/Besucher/a]	Methode	Quelle
2,16-2,19	2,18	n.B.	FISCHER UND WILLERT (2013)
0,73	0,73	CVM/TCM	GETZNER (1998)
0,99	0,99	CVM/TCM	GETZNER (1998)
0,58	0,58	n.B.	SCHÜSSELE (1995)
2,04	2,04	n.B.	SCHÜSSELE (1995)
1,14	1,14	n.B.	SCHÜSSELE (1995)
1,72	1,72	n.B.	SCHÜSSELE (1995)

Wertspanne [€/Besucher/a]	Wertansatz [€/Besucher/a]	Methode	Quelle
1,54	1,54	n.B.	UFLACKER (1995)
9,25	9,25	n.B.	UFLACKER (1995)
1,54	1,54	n.B.	UFLACKER (1995)
2,61	2,61	n.B.	UFLACKER (1995)
1,16-4,48	2,82	TCM	LÖWENSTEIN (1994)
2,33	2,33	CVM	LÖWENSTEIN (1994)
1,17	1,17	n.B.	SCHWATLO (1994)
0,79	0,79	n.B.	SCHWATLO (1994)
2,15-2,96	2,56	CVM	BISHOP (1992)
2,85-7,04	4,95	TCM	WILLIS 1991)
2,58-5,16	3,87	CVM	SIEVÄNDEN ET AL. (1992)
5,16	5,16	TCM	SIEVÄNDEN ET AL. (1992)
0,92-1,56	1,24	CVM	WILLIS UND BENSON (1989)
2,46	2,46	n.B.	SCHELBERT-SYFRIG (1988)
Mittelwert	2,46		

Tabelle XI: Zahlungsbereitschaft für Artenschutz und Biodiversität, nach SIEBERTH (2014)

Zahlung pro Monat/Haushalt [€]		Quelle
Zahlungsbereitschaft für lokalen Naturschutz	2	DEGENHARDT (1998)
Errichtung von 15 % der Fläche Schleswig-Holsteins als Naturschutzgebiet (Nichtwald)	10,46	V. ALVENSLEBEN und SCHLEYERBACH (1994)
Zahlungsbereitschaft für Arten- und Biotopschutz	10,75	HAMPICKE und SCHULZ (1991)
Schutz der Tier- und Pflanzenarten (bundesweite Haushaltsbefragung)	13,52	HAMPICKE und SCHULZ (1991)
Verhinderung des Artensterbens in Deutschland	8,22	HOLM-MÜLLER (1991)
Mittelwert	8,99	
Zahlung pro Jahr/Haushalt [€]		Quelle
Erhaltung/Förderung der biologischen Vielfalt	48	KÜPKER ET AL. (2005)
Erhalt des Landschaftsbildes	28,64	JUNG (1996)
Verbesserung des Landschaftsbildes	39,56	JUNG (1996)
Artenschutz	50,34	JUNG (1996))
Arten- und Biotopschutz in Westberlin (Nichtwald)	64,72	SCHWEPPE-KRAFT ET AL. (1989)
Mittelwert	46,252	

Tabelle XII: Berechnung der CO₂ Senkenleistung der Stadt Wuppertal, verändert nach PAUL (2020)

Baumarten- gruppe	Fläche [ha]	Laufender Zuwachs [t/ha/a]	Gewicht frisch [kg/fm] Übernommen von PAUL (2020)	Darrgewicht [kg/fm] Übernommen von PAUL (2020)	Faktor	Kohlenstoff- gehalt im Holz Faktor	Oxidations- wert CO ₂ je Tonne C	Senkenleistung je BA/ha	Senkenleistung der Stadt Wuppertal [t/a]
Eiche	340,86	3,6	1113	687	0,62	0,5	3,67	4,08	1389,88
Buche	499,21	8,1	1123	674	0,60	0,5	3,67	8,92	4453,33
Alh	210,48	8,3	873	578	0,66	0,5	3,67	10,08	2122,46
Aln	238,99	5,3	983	491	0,50	0,5	3,67	4,86	1160,97
Pappel	18,72	6,2	1115	414	0,37	0,5	3,67	4,22	79,08
Kiefer	8,64	3,6	705	488	0,69	0,5	3,67	4,57	39,51
Lärche	69,41	6,9	988	513	0,52	0,5	3,67	6,57	456,32
Fichte	54,82	10,3	800	443	0,55	0,5	3,67	10,47	573,75
Douglasie	8,91	11,2	720	500	0,69	0,5	3,67	14,27	127,17
Gesamt	1450,04								10.402,47
Mittelwert "Senkenleistung der Flächen der Stadt Wuppertal" [t/ha/a] gewichtet nach Flächenanteilen									7,17

Tabelle XIII: Berechnung der CO₂-Senkenleistung der Forstbetriebsgemeinschaft Wuppertal, verändert nach PAUL (2020)

Baumarten- gruppe	Fläche [ha]	Laufender Zuwachs [t/ha/a]	Gewicht frisch [kg/fm] Übernommen von PAUL (2020)	Darrgewicht [kg/fm] Übernommen von PAUL (2020)	Faktor	Kohlenstoff- gehalt im Holz Faktor	Oxidations- wert CO ₂ je Tonne C	Senkenleistung je BA/ha	Senkenleistung der FBG [t/a]
Eiche	283,86	3,80	1113	687	0,62	0,5	3,67	4,30	1221,76
Buche	286,11	7,00	1123	674	0,60	0,5	3,67	7,71	2205,70
Alh	61,79	7,70	873	578	0,66	0,5	3,67	9,35	578,04
Aln	135,07	3,10	983	491	0,50	0,5	3,67	2,84	383,78
Pappel	8,44	4,00	1115	414	0,37	0,5	3,67	2,73	23,00
Kiefer	4,83	2,10	705	488	0,69	0,5	3,67	2,67	12,88
Lärche	39,12	6,30	988	513	0,52	0,5	3,67	6,00	234,82
Fichte	55,564	11,00	800	443	0,55	0,5	3,67	11,18	621,06
Douglasie	14,63	7,40	720	500	0,69	0,5	3,67	9,43	137,96
Gesamt	889,414								5.419,01
Mittelwert "Senkenleistung der Flächen der Forstbetriebsgemeinschaft Wuppertal" [t/ha/a] gewichtet nach Flächenanteilen									6,0928

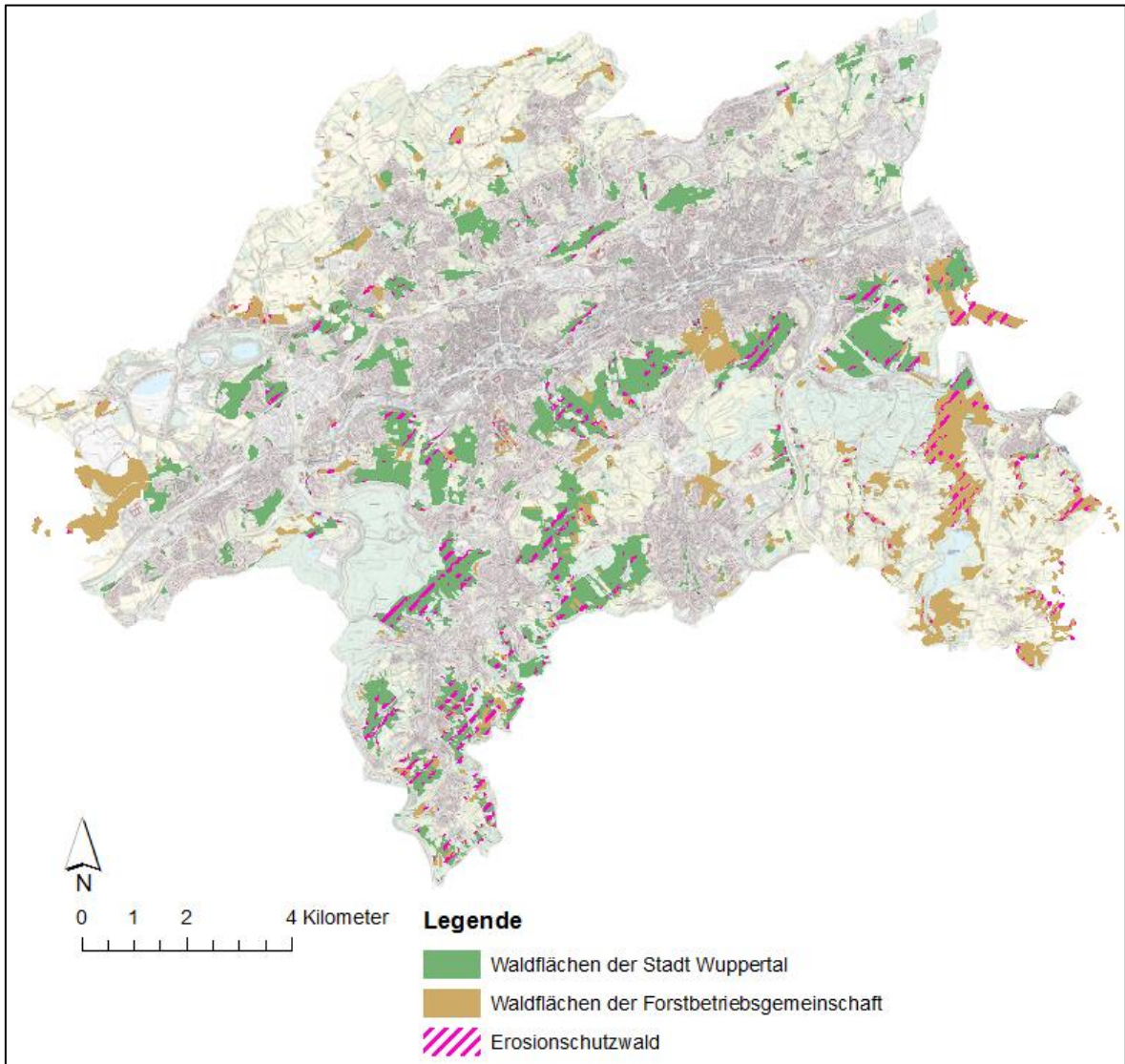


Abb. I: Eigene Darstellung des ausgewiesenen Erosionsschutzwaldes mittels ArcGIS

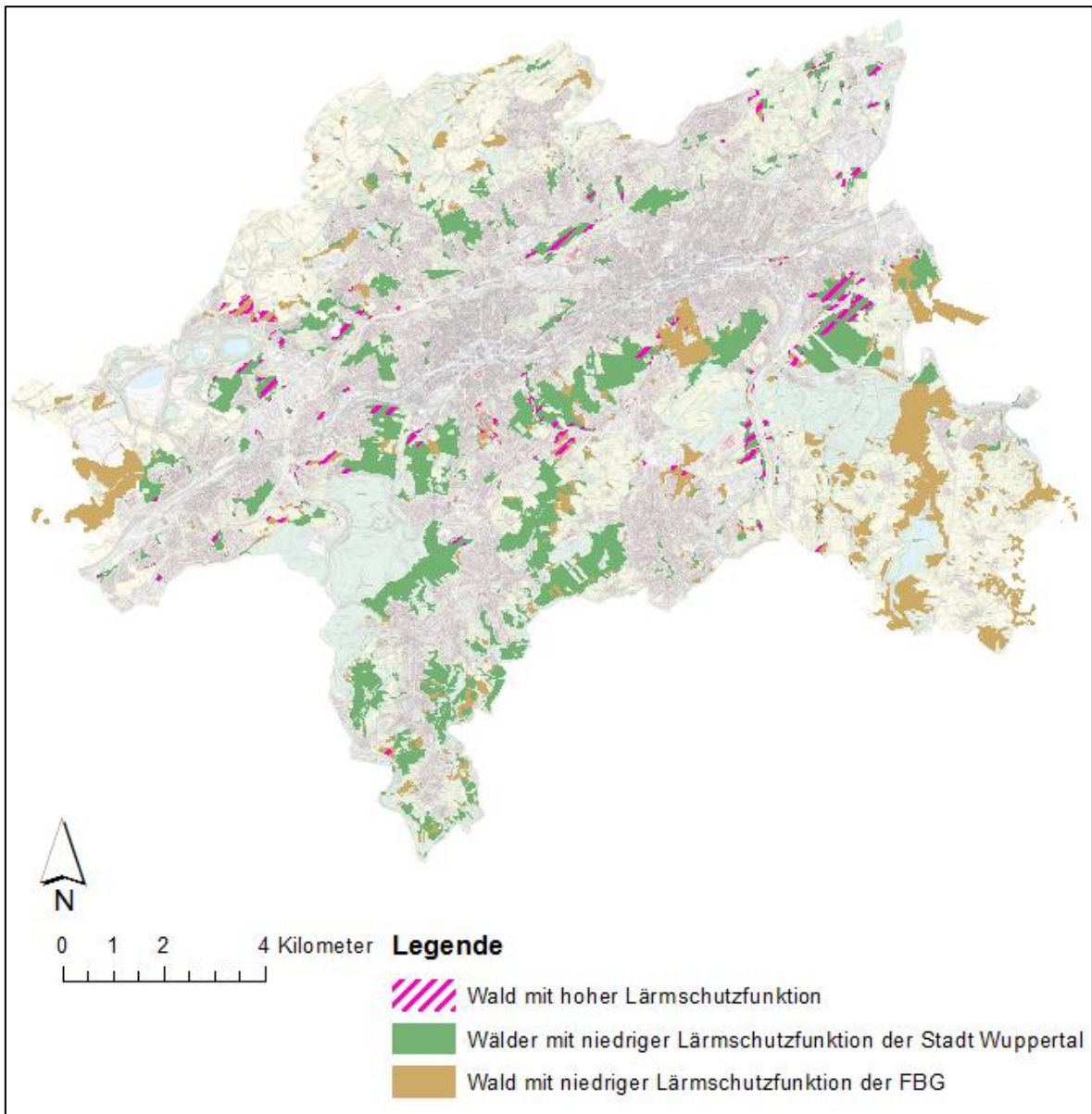



Abb.II: Eigene Darstellung der Waldfläche mit Lärmindernder Wirkung mittels ArcGIS

Berechnung I:

Berechnung des korrigierten Niederschlags nach PAUL (2020) am Beispiel der Stadt Wuppertal (übertragbar auf die Flächen der FBG):

0,47	x	0,902	=	0,42
Faktor Grundwasserabfluss LH	X	Faktor LH-Anteil Stadt Wuppertal	=	Grundwasserabfluss LH
0,33	x	0,098	=	0,03
Faktor Grundwasserabfluss NH	X	Faktor NH-Anteil Stadt Wuppertal	=	Grundwasserabfluss LH
		Summe Grundwasserabfluss LH & NH	=	0,46
		(0,42+0,03)	=	
1033,33	x	0,46	=	471,52
Niederschlag [mm/a]	X	Summe LH&NH	=	Korrigierter Niederschlag [l/m ² /a]

Berechnung der Verdunstung:

1033,33	x	(1-0,46)	=	561,81
Niederschlag [mm/a]	X	100%- Summe Grundwasserabfluss LH&NH	=	Verdunstung [mm/a]