

# **UPM 12 – Praxisprojekt**

Im Masterstudiengang Urbanes Baum- und  
Waldmanagement

## **Thema**

Inwertsetzung von Ökosystemleistungen des  
Waldes am Beispiel der Stadt Menden  
(Sauerland)

Vorgelegt von Niklas Alexander  
Schrödel

Am 09.01.2022

Dozent/in Prof. Dr. Volker Dubbel

## Inhaltsverzeichnis:

|   |      |
|---|------|
| 1. Einleitung .....                                   | S.1  |
| 2. Einsatzstelle .....                                | S.2  |
| 2.1 Stadt Menden .....                                | S.2  |
| 2.2 Naturräumliche Gliederung .....                   | S.3  |
| 3. Methodik .....                                     | S.3  |
| 4. Ergebnisse .....                                   | S.4  |
| 4.1 Holzerlös .....                                   | S.4  |
| 4.2 Wasser .....                                      | S.5  |
| 4.2.1 Nitratfilterleistung .....                      | S.5  |
| 4.2.2 Retentionsleistung .....                        | S.8  |
| 4.3 Luft .....  | S.10 |
| 4.3.1 CO <sub>2</sub> -Adsorption .....               | S.10 |
| 4.3.2 O <sub>2</sub> -Produktion .....                | S.12 |
| 4.3.3 Staubfilterleistung .....                       | S.13 |
| 4.4 Lärmschutz .....                                  | S.14 |
| 4.5 Siedlungswert .....                               | S.16 |
| 4.6 Erholung .....                                    | S.16 |
| 4.7 Kostenstelle Wald .....                           | S.18 |
| 4.8 Artenschutz und Biodiversität .....               | S.19 |
| 4.9 Sonstige Leistungen .....                         | S.20 |
| 4.9.1 Gesundheitsleistung .....                       | S.21 |
| 4.9.2 Luftbefeuchtung und Temperaturregulierung ..... | S.21 |
| 4.9.3 Erosionsschutz .....                            | S.22 |
| 4.9.4 Wildbret und Jagd .....                         | S.22 |
| 4.10 Gesamtkalkulation .....                          | S.23 |
| 5. Schlussfolgerung und Ausblick .....                | S.25 |
| 6. Zusammenfassung .....                              | S.26 |
| 7. Literaturverzeichnis .....                         | S.27 |
| Anhang  |      |

Authentizitätserklärung

#### Tabellenverzeichnis:

|  |      |
|--|------|
| Tabelle 1: Berechnung des Holzerlöses, angepasst nach Pilz (2021).....                                       | S.5  |
| Tabelle 2: Berechnung des korrigierten Niederschlags, verändert nach PAUL<br>(2020).....                     | S.7  |
| Tabelle 3: Inwertsetzung der Nitratfilterleistung, verändert nach PAUL<br>(2020).....                        | S.7  |
| Tabelle 4: Berechnung der Retentionsleistung.....  | S.10 |
| Tabelle 5: Berechnung der CO <sub>2</sub> -Senkleistung, verändert nach Paul (2020).....                     | S.12 |
| Tabelle 6: Berechnung der O <sub>2</sub> -Produktion verändert nach Paul<br>(2020).....                      | S.13 |
| Tabelle 7: Berechnung der Feinstaubfilterleistung, verändert nach Sieberth<br>(2014).....                    | S.14 |
| Tabelle 8: Berechnung der Lärmschutzleistung, verändert nach Wissenberg<br>(2019).....                       | S.16 |
| Tabelle 9: Berechnung des Siedlungswertes, angepasst nach Sieberth<br>(2014).....                            | S.16 |
| Tabelle 10: Berechnung des Erholungswertes, angepasst nach Siebert (2014)....                                | S.18 |
| Tabelle 11: Kosten der Erholungsleistung.....  | S.19 |
| Tabelle 12: Berechnung der Artenschutz- und Biodiversitätsleistung, verändert<br>nach Wissenberg (2019)..... | S.20 |
| Tabelle 13: Berechnung der Jagdpacht.....  | S.23 |
| Tabelle 14: Gesamtkalkulation der Ökosystemleistungen.....   | S.24 |

#### Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Ansatz des „Millennium Ecosystem Assessment (MEA)“ (2005) zu Ökosystemleistungen und ihrer Bedeutung für das menschliche Wohlergehen. (Quelle: TEEB DE 2016, S. 22 übersetzt und verändert nach MEA 2005 und BFN 2012) ..... 1

#### Abkürzungsverzeichnis:

- BA Baumart
- CVM Contingent Valuation Method
- EFM Erntefestmeter
- FM Festmeter
- ÖSL Ökosystemleistungen
- TCM Reisekostenanalyse (Travel Cost Method)

## 1. Einleitung

Die vergangenen Jahre haben, angeheizt durch den Klimawandel den Wald wieder verstärkt in die öffentliche Wahrnehmung gerückt. Als CO<sub>2</sub>-Speicher soll er die Folgen des Klimawandels abschwächen und das heimische Holz wird als nachwachsender Rohstoff immer wichtiger. Die Pandemie hat ihr Übriges getan und vermehrt Erholungssuchende in die Wälder gelockt.

Diese Leistungen, die der Wald den Menschen erbringt, werden als Ökosystemleistungen (ÖSL) bezeichnet. Das Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005) definiert die Ökosystemleistungen als die vielfältigen Leistungen, die dem Menschen durch die verschiedenen Ökosysteme erbracht werden und direkt oder indirekt zum menschlichen Wohlbefinden (human well-being) beitragen. Die MEA (2005) ordnet die ÖSL in 4 Hauptbereiche ein, den „Versorgungsleistungen“, „Regulierungsleistungen“, kulturelle Leistungen“ und den „Basisleistungen“. Diese Bereiche beeinflussen die verschiedenen Bereiche der menschlichen Lebensqualität. (Vgl. Abbildung 1).



Abbildung 1: Ansatz des „Millennium Ecosystem Assessment (MEA)“ (2005) zu Ökosystemleistungen und ihrer Bedeutung für das menschliche Wohlergehen. (Quelle: TEEB DE 2016, S. 22 übersetzt und verändert nach MEA 2005 und BFN 2012)

Diese Leistungen werden von den Ökosystemen, wie dem Wald kostenlos bereitgestellt, dennoch sollen in dieser Arbeit ausgewählte ÖSL kurz beschrieben und für eine monetäre Inwertsetzung bewertet werden. Mit der Inwertsetzung sollen die Leistungen, die

Ökosysteme den Menschen liefern, für diese greifbarer und verständlicher gemacht werden (TEEB Deutschland 2016). Ziel dieser Arbeit ist es, der Bevölkerung und der öffentlichen Hand den Wert der Ressource Wald näher zu bringen und deren Berücksichtigung in Entscheidungs- und Planungsprozesse zu fördern. Damit soll ein langfristiger Erhalt und die vielfältige Entwicklung des Waldes gefördert werden. Laut TEEB Deutschland (2016) führt eine Berücksichtigung der verschiedenen ÖSL zu einer Unterstützung der sozial, ökologisch sowie nachhaltigen Entwicklung der Gesellschaft. Die Ergebnisse dieser Arbeit können und sollen, wie auch die der Vergleichsarbeiten, von Sieberth (2014), Wissenberg (2019), Paul (2020) und Pilz (2021), eine gemeinsame Diskussionsgrundlage für die verschiedenen Interessensgruppen, wie Forstwirtschaft, Umweltverbände, Wasserversorger, oder Tourismus schaffen und eine gemeinsame Bewertung der ÖSL ermöglichen. Ebenfalls soll die Bedeutung der Forstwirtschaft im Hinblick auf die Bereitstellung der ÖSL verdeutlicht werden, da nur eine nachhaltige, langfristige Bewirtschaftung diese sowohl heute als auch in Zukunft garantieren kann.

## **2. Einsatzstelle**

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Praxisprojektes im Masterstudium „Urbanes Baum- und Waldmanagement“ für die Stadt Menden (Sauerland) in der Abteilung 67 – Forst erstellt. Die Abteilung 67 – gehört dem Baudezernat im Geschäftsbereich 2 der Stadtverwaltung an. Die Betreuung übernahm Stadtförster Dirk Basse, der auch in Kooperation mit den Stadtwerken Hemer und der Stadt Hemer deren Waldflächen befördert.

### **2.1 Stadt Menden**

Die Stadt Menden liegt am nördlichen Rand des Sauerlandes und gehört zum Märkischen Kreis im Regierungsbezirk Arnsberg. Mit einer Größe von 86 km<sup>2</sup> und einer Einwohnerzahl von 52.452 ist Menden ein Mittelzentrum in der Region (vgl. (Märkischer Kreis 2021).

Von Süden aus dem von steilen Karstwänden geprägten Hönnetal kommend durchfließt die Hönne das gesamte Stadtgebiet, bis sie an der Gemeindegrenze in die Ruhr fließt. Die Stadt selbst befindet sich in einer Tallage, die sich zu den Außengebieten nahe der Ruhr immer weiter abflacht.

Der Stadtwald im Besitz der Stadt Menden hat eine Fläche von 627,89 ha und macht damit 7% der Stadtfläche aus, insgesamt sind ca. 35% des Stadtgebietes bewaldet, die restlichen Waldflächen, befinden sich allerdings in Privat-, oder Stiftungsbesitz. Der Stadtwald gliedert sich hauptsächlich in 3 größere geschlossene Bestände, dem Kappellenberg, mit seiner jährlich stattfindenden Wallfahrt, dem Haunsberg und dem größten zusammenhängenden Waldstück, der Waldemei. Die stellenweise von Bächen und Siepen durchzogenen alten Laubmischwälder werden großflächig als Wildnisgebiete nicht mehr forstwirtschaftlich

genutzt. Weite Teile des Stadtwaldes wurden ehemals stark von der Fichte geprägt, doch hatte diese in den vergangenen Jahren schwer unter Käferkalamitäten und Sturmschäden zu leiden. Von den ehemaligen 127 ha Fichtenbeständen sind bis zur Anfertigung dieser Arbeit über 90% bereits abgestorben. (Vgl. (Leonhardt 2017; Stadt Menden 2021b)

Menden hat einen mittleren Jahresniederschlag 858 mm und erstreckt sich von der Ruhr im Norden von 140 m ü. NN bis zu 380 m ü. NN in den Höhenlagen (Stadt Menden 2021b).

## **2.2 Naturräumliche Gliederung**

Das Gemeindegebiet der Stadt Menden ordnet sich dem Naturraum 337 zu, dem Niederbergischen Märkischen Hügelland und dem Bergischen/Sauerländischen Gebirge. Geologisch betrachtet gehört das Gebiet zum rheinischen Schiefergebirge, mit mächtigen Sandstein- bzw. Grauwackenbänken, abwechselnd mit bis zu mehreren Metern dicken Schiefertonschichten (Basse 1997).

Auf diesen Schichten bildeten sich im Laufe der Zeit Braunerden, Pseudogleye und das nur in Menden vorkommende „Mendener Konglomerat“ ,eines aus mehreren Gesteinsarten mit Kalk-Ton zusammengekittetes Gestein (Menden/Sauerland - Stadt und Landschaft 2013). Richtung Hönnetal wird der Boden immer kalkhaltiger mit einem hohen Skelettanteil, bis hin zum im Hönnetal beginnenden Karstgebiet. (Vgl. (Stadt Menden 2021b)

## **3. Methodik**

Zu Beginn des Projektes wurde gemeinsam mit dem Stadtförster Herrn Basse Art und Umfang der Arbeit besprochen und festgelegt. Um das erklärte Ziel, der Politik und Bevölkerung den Wert des Ökosystems Wald näher zu bringen, zu erreichen, sollen nur die Waldflächen im Besitz der Stadt bewertet werden. Zur Vorbereitung und Ermittlung, welche Ökosystemleistungen sich zum aktuellen Zeitpunkt zwecks einer Inwertsetzung monetär bewerten lassen, erfolgt eine umfangreiche Literaturrecherche. Ökosystemleistungen, welche sich noch nicht monetär bewerten lassen, aber dennoch relevant sind, werden verbal beschrieben.

Dabei wurden die Studien von Sieberth (2014), Wissenberg (2019), Paul (2020) und Pilz (2021) verglichen. Recherche und Methodik sind für eine Vergleichbarkeit der Arbeiten an diese angelehnt, wobei die genutzte Literatur gegebenenfalls aktualisiert oder ergänzt wird.

Für die Stadt Menden konnten Kennzahlen, wie Holzbodenfläche, Hiebsatz, Baumartenverteilung und Wededichte Großteiles der Forsteinrichtung des Stadtförstes

entnommen werden. Dort fehlende Daten und Katengrundlagen zu Berechnung wurden mit Hilfe von Herrn Basse, der Stadtverwaltung und weiterer Recherche ermittelt.

Im folgenden Kapitel werden die bewerteten Ökosystemleistungen kurz beschrieben und mit den recherchierten Alternativen verglichen. Darauf folgt die Bewertung mit den ermittelten Kennzahlen. Die Ergebnisse werden wie in den Vergleichsstudien in Euro je Hektar und Jahr angegeben.

#### **4. Ergebnisse**

Die Holzbodenfläche in Menden beträgt laut der Forsteinrichtung aus dem Jahr 2017 578,28 ha (vgl. Leonhardt 2017).

Allerdings sind durch Stürme wie das Orkantief Frederike im Jahr 2018 und die folgenden Käferkalamitäten große Frei- und Schadflächen entstanden, die noch nicht wieder vollständig bestockt sind. Insgesamt sind 123,72 ha vor allem mit Fichte bestockte Flächen abgestorben. Für die folgenden Berechnungen werden die Daten des aktuellen Betriebswerks für den Stadtwald Menden von A. Leonhardt für den Stichtag 01.01.2017 genutzt. Es soll angemerkt werden, dass die Berechnungen mit der neuen für das Jahr 2022 geplanten Forsteinrichtung aktualisiert werden sollten.

##### **4.1 Holzerlös**

Die Holzproduktion ist die bekannteste Ökosystemleistung des Waldes und bisher die einzige, die als solche honoriert wird. Sie gehört zur Versorgungsleistung des Waldes und hat in Form der Forstwirtschaft stark zu Erschließung und Formung der Wälder in Deutschland beigetragen. Die Erschließung durch Wege und der Bau von Erholungseinrichtungen für die kulturellen Leistungen des Waldes wurden bisher Großteiles aus den Erträgen der Holzproduktion finanziert (TEEB Deutschland 2016).

Obwohl die Holzproduktion die bisher einzige vergütete ÖSL ist, hat ein Großteil der Bevölkerung in den Städten eine eher distanzierte Meinung zur Holznutzung. Sie wollen gerne Holz nutzen, auch aus heimischen Wäldern, dennoch haben die soziokulturellen Leistungen für sie einen deutlich höheren Stellenwert (Kleinhüchelkotten und Wipperman 2006).

Andererseits kann Holz aus „Ihrem“ Wald auch die Identifikation der Bürger mit dem Wald stärken. So wird lokales Bauholz und Brennholz in Selbstwerbung von vielen Leuten sehr geschätzt und gerne angenommen (vgl. Dobler et al. 2016). Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass in einer von der Forstwirtschaft stark geprägten Region wie dem Sauerland die Holznutzung eher positiv bewertet wird.

Für die Berechnung des Holzerlöses wurden die Daten des Holzverkaufs der Jahre 2015 bis 2017 genutzt um ein möglichst störungsfreies Ergebnis aufzuzeigen (Stadt Menden 2021b). Im Mittelwert ergab sich ein durchschnittlicher Holzerlös von 170.697,33 €/a und für den Hektar einen Ertrag von 295,15 €/ha/a bei einem Erlös von 60 € für den Festmeter.

*Tabelle 1: Berechnung des Holzerlöses, angepasst nach Pilz (2021)*

| Ø holzernte-kostenfreier Erlös [€/a] | Fläche [ha] | Ø Nutzung 2015-2017 [Efm o.R.] | Ø Erlös [€/Efm o.R.] | Ergebnis [€/ha/a] | Quelle               |
|--------------------------------------|-------------|--------------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| 170.679,33 €                         | 578,28      | 2845                           | 60,00 €              | 295,15 €          | (Stadt Menden 2021b) |

## 4.2 Wasser

Wasser ist ein unverzichtbares Gut für das Überleben auf unserem Planeten. Der Wald hat einen positiven Einfluss auf die Ressource Wasser, durch sein Vermögen Schadstoffe wie Nitrat aus dem Wasser zu filtern, bevor es in das Grundwasser abfließt. Daher ist der Wald in einer dicht besiedelten Region wie Nordrhein-Westfalen mit einem hohen Brauch- und Trinkwasserverbrauch von entscheidender Bedeutung. In Hinblick auf den Klimawandel wird sich der Verbrauch von Brauchwasser deutlich erhöhen, während die Wasserverfügbarkeit immer weiter abnimmt und das Grundwasser höheren Schadstoffbelastungen ausgesetzt wird. (Vgl. Wald und Holz NRW (2019) und Kübeck et al. (2013))

Wälder mit ihren stark durchwurzelten Böden können große Mengen Wasser aufnehmen und den Oberflächenabfluss verringern, somit Starkregenereignisse abmildern. Sie sind in der Lage, Wasser über einen längeren Zeitraum binden und es kontinuierlich an das Grundwasser und die Luft abzugeben, dadurch beeinflussen sie das lokale Klima und den Grundwasserhaushalt positiv (Wald und Holz NRW 2019).

In den folgenden Abschnitten 4.2.1 und 4.2.2 werden die Nitratfilter- und Retentionsleistungen von Wäldern näher betrachtet.

### 4.2.1 Nitratfilterung

Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union haben den Grenzwert des Nitratgehalts im Grund- und Trinkwasser bei 50 mg/l festgelegt (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 12.12.2006; Rat der Europäischen Union 03.11.1998). Dieser Wert wird an 27% der Messstellen in Deutschland überschritten. Grundwasserkörper in Gebieten mit einem hohen Anteil an landwirtschaftlichen Flächen sind davon am stärksten betroffen. Daher wurde Deutschland wiederholt von der EU-

Kommission verwarnt, weil es seinen Verpflichtungen die EU-Nitratrichtlinie einzuhalten nicht erfüllt, ein Verfahren ist daraufhin eingeleitet worden. (Umweltbundesamt 2020; Europäische Kommission 2019).

Das Trinkwasser in Deutschland wird zu 70% aus dem Grundwasser gewonnen, die restlichen 30% stammen aus Seen, Talsperren, Flüssen oder werden indirekt als Uferfiltrat oder Mischwasser gefördert. Ein hoher Nitratwert im Trinkwasser stellt eine ernsthafte Bedrohung für die Gesundheit von Säuglingen, durch eine gestörte Sauerstoffaufnahme dar. (Umwelt Bundesamt 2019; Umweltbundesamt 2020)

Die Reinigungswirkung von Waldböden wird durch die starke Durchwurzelung und hohe Aktivität von Mikroorganismen erreicht. Bei der naturnahen Waldbewirtschaftung kommen Düngemittel und Pestizide nicht, oder nur in Ausnahmefällen zum Einsatz und es wird bodenschonend gearbeitet. Die Stoffkreisläufe bleiben im Wald mangels Bodenbearbeitung und hoher Humusaufgaben weitestgehend geschlossen und das Nitrat verbleibt im Wald. So kommt es, dass im Wald gewonnenes/gebildetes Grund- und Trinkwasser eine annähernd unbelastete Qualität aufweisen im Vergleich zu landwirtschaftlichen Flächen. (Vgl. (Englisch 2016; Kächli und Meylan 2002; Kächli 2005)

Zur Gewährleistung des Grundwasserschutzes sollten die Bestände dauerhaft bestockt und stabil bleiben, bei einer möglichst geringen Bodenverdichtung. Daher sollten schonende Forstwirtschaftliche- und Pflegemaßnahmen durchgeführt werden. Umweltschonende Bioschmierstoffe haben sich nicht nur in Wasserschutzgebieten bei der Forstwirtschaft durchgesetzt und tragen somit auch zum Schutz des Grundwassers bei. (Kächli 2005). Forstliche Maßnahmen in Wasserschutzgebieten können mit Einschränkungen und Auflagen versehen sein, die zu höheren Kosten und damit verbundenen Gewinneinbußen führen (Blatter et al. 2012). Laubholzbestände weisen niedrigere Nitratwerte im Sickerwasser auf als Nadelholzbestände, daher wird ihnen in Wasserschutzgebieten der Vorzug gegeben. Waldbauliche Maßnahmen wie die Erhöhung des Laubholzanteiles können zu Einbußen auf Kosten von ertragreicheren Nadelholzbeständen führen (Bürgi und Spjevak 2009).

Laubwälder haben eine höhere Filterleistung als Nadelwälder, da ihr Laub besser zersetzt werden kann und sich daher mächtigere Humusaufgaben mit einer hohen Mikroorganismendichte bilden. Nadeln hingegen werden langsamer zersetzt und versauern die Streu zusätzlich, da sie effizienter Schadstoffe aus der Luft binden. Nadelbäume haben einen geringeren Grundwasserabfluss als Laubbäume, da sie das ganze Jahr über belaubt sind. Der Grundwasserabfluss bei einem durchschnittlichen Niederschlag von 920 mm in

Buchenreinbeständen beträgt ca. 47%, wohingegen Fichtenreinbestände einen Abfluss von 33% aufweisen. (Rupsch 2016)

Die Inwertsetzung der Nitratfilterleistung erfolgt anhand theoretischer Kosten technischer Trinkwasserreinigung, die durch die natürlichen Reinigungsprozesse der Waldböden entfallen. Die Kosten dieser Filterprozesse belaufen sich laut Literatur auf 0,08 bis 0,82 €/m<sup>3</sup> (Vgl. Anhang, Tab I) (Olschewski 1997; Zwintz 1985).

Für die Berechnung der Nitratfilterleistung wird der mittlere Jahresniederschlag Menden benötigt. Dieser liegt bei 858 mm/a (Stadt Menden 2021b). Der Niederschlag reicht nicht für die korrekte Berechnung der Filterleistung, es müssen natürliche Faktoren, wie Verdunstung, Eigenverbrauch und Transpiration mit berechnet werden. Bei Laubbäumen kann mit einem Grundwasserabfluss von 47% gerechnet werden, während bei Nadelbäumen ein Abfluss von 33% zu erwarten ist bei mittleren Jahresniederschlag von 940 mm/a (Rupsch 2016). Diese Werte können laut Rust (2019) mit gebotener Vorsicht auf Gebiete mit vergleichbaren Niederschlagsmengen angewendet werden. Die ermittelten Abflusswerte müssen im nächsten Schritt mit dem Laub- (70%) und Nadelholzanteil (30%) verrechnet werden, anschließend wird ein gewichteter Mittelwert als Korrekturfaktor für den Niederschlag gebildet. Der ermittelte Korrekturwert der Verdunstung beläuft sich für Menden auf 491,25 mm/a. Zur Ermittlung der für die Trinkwasserproduktion verfügbaren Niederschlagsmenge muss der Korrekturwert von 491,25 mm/a vom Niederschlag (858 mm/a) abgezogen werden. Die korrigierte Niederschlagsmenge beläuft sich auf 366,74 l/m<sup>2</sup>/a oder 3667,43 m<sup>3</sup>/ha/a (vgl. Anhang, Berechnung I)

Die Alternativkosten der Filterung von Trinkwassern belaufen sich laut Olschewski (1997) und Zwintz (1985) auf 0,08 €/m<sup>3</sup> - 0,82 €/m<sup>3</sup>. Diese Werte eignen sich für die Berechnung der Filterleistung von Waldböden in Trinkwasserschutzgebieten. Für Waldflächen außerhalb von Trinkwasserschutzgebieten kann ein um 90% verringerter Wert verwendet werden, da auch diese Flächen zur Nitratfilterleistung beitragen und das Wasser an anderer Stelle genutzt werden kann (Sieberth 2014; Wissenberg 2019; Paul 2020; Pilz 2021). Im Stadtwald Menden gibt es kein ausgewiesenes Trinkwasserschutzgebiet (Stadt Menden 2021b), daher wird anhand des geringsten Wertes von 0,08€/m<sup>3</sup> und der Verringerung um 90% ein Wert von 16.966,44 €/a für die Filterleistung berechnet. Bezogen aufs Jahr und Hektar ergibt sich ein Wert von 29,34 €/ha/a für die Stadt Menden (Vgl. Tabelle 3)

Tabelle 2: Berechnung des korrigierten Niederschlags, verändert nach PAUL (2020)

| Niederschlag [mm/a] | Verdunstung [mm/a] | Korrigierter Niederschlag [l/m <sup>2</sup> /a] | Korrigierter Niederschlag [l/ha/a] | Korrigierter Niederschlag [m <sup>3</sup> /ha/a] |
|---------------------|--------------------|---|------------------------------------|--|
| 858                 | 491,25648          | 366,74352                                       | 3.667.435                          | 3667,4352  |

Tabelle 3: Inwertsetzung der Nitratfilterleistung, verändert nach PAUL (2020)

| Waldfläche ohne Trinkwasserschutz [ha] | um 90% reduzierter Hektarwert [m <sup>3</sup> /ha/a] | Preis [€/m <sup>3</sup> ] | Ergebnis [€/a] | Ergebnis [€/ha/a] |
|--|--|---------------------------|----------------|-------------------|
| 578,28                                 | 366,74352  | 0,08                      | 16.966,44 €    | 29,34 €           |

#### 4.2.2 Retention

Die Starkregenereignisse im Sommer des Jahres 2021 haben in Teilen Nordrhein-Westfalens, Rheinland-Pfalz und Bayerns zu schweren Schäden und über 180 Todesopfern geführt (Westdeutscher Rundfunk (WDR) 2021). Im Einzugsgebiet der Ruhr sorgte das Tief „Bernd“ für Starkniederschläge mit bis zu 100 l/m<sup>2</sup> innerhalb von 72 Stunden (Junghänel et al. 2021). Auch die Region rund um Menden und das Stadtgebiet in der Tallage an der Hönne waren betroffen es entstanden Sachschäden in Höhe von 5,5 Millionen € (Stadt Menden 2021a).

Die Wahrscheinlichkeit für Starkregenereignisse nimmt mit dem Klimawandel stetig zu, weshalb die Retentionsleistung von Wäldern in Regionen mit Hanglagen oder Flüssen in Zentrumsnähe an Bedeutung gewinnt (Müller et al. 2018).

Wälder üben einen Einfluss auf Hochwasser aus, indem sie Wasser binden oder den Abfluss verlangsamen. Die Interzeption der Kronen erhöhen die Verdunstung und verringern dadurch die Wassermenge, die den Boden erreicht. Die Rauigkeit in den Beständen verringert den Flächenabfluss und verzögert so die Wasserabgabe an Flüsse oder Talsperren und entlastet so die Verteilung des Überschusses. Der Boden in Wäldern ist stark durchwurzelt und besitzt eine hohe Infiltrationsleistung für Wasser. (Vgl. Worreschk 2000)

Die Infiltrationsleistung von Wäldern ist abhängig von der Bodenfeuchtigkeit, dem Porenvolumen und der Bestockung. Die Bodenfeuchtigkeit ist der Indikator dafür, wie stark ein Boden mit Wasser gesättigt ist und wie viel er im Falle eines Niederschlags aufnehmen kann. Ist die Sättigung der Böden zu hoch, können sie nur begrenzt Wasser aufnehmen, ist die Sättigung gering, können sie dafür umso mehr aufnehmen. Sollten Waldböden allerdings zu trocken sein, wie es in Dürre Jahren vorkommen kann, können Starkniederschläge schlechter aufgenommen werden. Bodenverdichtung durch

Bodenbearbeitung oder flächiger Befahrung verringern das Porenvolumen und damit die Infiltrationsleistung des Bodens. Grob- und Mittelporen zeigen gute Infiltrationsleistungen, während Kleinporen, die vornehmlich bei Tonböden vorkommen, weniger Wasser aufnehmen, es dafür aber umso länger speichern können. Geschädigte Waldflächen ohne Bestockung, wie Sturmwurfflächen oder von Käferkalamitäten geschädigte Fichtenbestände weisen eine geringere Infiltrationsleistung auf. Die Poren der Böden werden auf den geschädigten Flächen schneller zugeschlämmt, da der Regen ohne Interzeption ungebremst auf den gering bewachsenen Boden fällt und dort zu Erosion führt. (Vgl. (Worreschk 2000; Junghänel et al. 2021; Müller et al. 2018; Puhlmann et al. 2013))

Ein ungestörter Waldboden hat laut Puhlmann et al. (2013) ein Infiltrationsvolumen von 80 l/m<sup>2</sup> in der Stunde, so dass auch ein Starkregen der Stufe 3 mit bis zu 40 l/m<sup>2</sup> innerhalb einer Stunde (DWD 2021), keinen Oberflächenabfluss entstehen lassen sollte. Die 80 l/m<sup>2</sup> Infiltrationsvolumen werden durch bodenphysikalische und bodenhydraulische Eigenschaften, wie Korngröße, Feuchtigkeit, Verdichtung und die Bodenart beeinflusst (Puhlmann et al. 2013).

Die Berechnung der Retentionsleistung des Stadtwaldes Menden wird anders als in den Vergleichsstudien von Sieberth (2014), Wissenberg (2019), Paul (2020) und Pilz (2021) nicht über die Kosten für den Bau von Erosionsschutzwänden als technische Alternative berechnet. Bei dieser wurde nach Moog und Püttmann (1986) ein Wert von 1378,44 €/ha/a für den Bau veranschlagt.

In Menden bietet es sich an, das Infiltrationsvolumen von 80 l/m<sup>2</sup> von Puhlmann et al. (2013) als Retentionsleistung für gesunde Waldflächen zu nutzen und mit einer lokalen Hochwasserschutzmaßnahme zu verrechnen. Das Infiltrationsvolumen wird als Retentionsleistung für den Hektar umgerechnet, dabei ergibt sich ein Wert von 800 m<sup>3</sup>/ha.

Die Stadt Menden hat in den vergangenen Jahren viele Mittel in den Hochwasserschutz investiert und daher vermutlich vergleichsweise geringere Schäden als benachbarte Gemeinden während des Hochwassers verzeichnet (Stadt Menden 2021a, 2021b). Die Oeseteiche und deren Zulauf wurden in den vergangenen 4 Jahren zur Hochwasserrückhaltung und zur Kappung von Hochwasserspitzen unter Beachtung der wertvollen Biotopstruktur umgestaltet. Dabei wurde ein Retentionsvolumen von ca. 60.000 m<sup>3</sup> bei Baukosten von 781.000 € im ersten Bauabschnitt geschaffen (Stadt Menden (Sauerland) 04.11.2021). Anhand der Baukosten (781.000 €) und des Retentionsvolumens (60.000 m<sup>3</sup>), lässt sich ein Wert von 13,02 € pro m<sup>3</sup> Retentionsvolumen errechnen.

Der Stadtwald Menden hat eine Holzbodenfläche von 578,28 ha, von denen 123,72 ha durch Sturmwurf und den Borkenkäfer momentan stark geschädigt sind (Stadt Menden

2021b). Auf diesen 123,72 ha kann mangels Bestockung und durch Verschlammung der Poren keine ungestörte Infiltrationsleistung von 80 l/m<sup>2</sup> angenommen werden, daher wird hier von einer Reduktion um 80% ausgegangen. Die 454,56 ha gesunde Waldfläche haben eine Retentionsleistung von 800 m<sup>3</sup>/ha in der Stunde, die geschädigte eine von 160 m<sup>3</sup>/ha.

Für die Inwertsetzung der Retentionsleistung des Stadtwaldes werden die Kosten für die Bereitstellung eines Kubikmeters Retentionsvolumen (13,02 €/m<sup>3</sup>) mit der Retentionsleistung (800 m<sup>3</sup>/ha) der Waldfläche verrechnet. Dabei errechnet sich ein Gesamtwert von 4.991.152,00 €/a für die gesamten 578,28 ha, die Reduktion für die geschädigten Flächen mit einbezogen. Für den Hektar ergibt sich ein Wert von 12.496,00 €/ha/a.

Tabelle 4: Berechnung der Retentionsleistung

| Oeseteiche Fassung [m <sup>3</sup> ] | Baukosten [€] | m <sup>3</sup> Retentionsvolumen [€/m <sup>3</sup> ] | Infiltrationsleistung Wald [m <sup>3</sup> /ha] | Reduktionsfaktor Schaden | Quelle                |
|--------------------------------------|---------------|--|---|--------------------------|-----------------------|
| 60.000                               | 781.000,00 €  | 13,02 €  | 800   | 80%                      | Puhmann et al. (2014) |
|                                      |               |  | Waldfläche gesund und geschädigt [ha]           | Kosten [€/a]             | Kosten [€/ha/a]       |
|                                      |               |  | 454,56  | 4.733.484,80 €           | 10.413,33 €           |
|                                      |               |  | 123,72  | 257.667,52 €             | 2.082,67 €            |
|                                      |               |  | Gesamt  | 4.991.152,32 €           | 12.496,00 €           |

### 4.3 Luft

Wälder sind in der Lage, große Mengen Sauerstoff zu produzieren, Kohlenstoff zu binden und Schadstoffe aus der Luft zu filtern. Mit diesen Regulationsleistungen tragen sie aktiv zum Überleben auf dem Planeten bei und sind ein wichtiger Faktor in der immer wichtiger werdenden Klimadiskussion. (Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (SDW) 2021)

#### 4.3.1 CO<sub>2</sub>-Adsorption

Der Klimawandel, angetrieben von massivem Kohlenstoffdioxid- (im folgenden CO<sub>2</sub>) Ausstoß, ist eine der größten Herausforderungen für die moderne Gesellschaft. CO<sub>2</sub> wird vom Weltklimarat, kurz IPCC, ein hoher Anteil an dem bisher beobachteten Temperaturanstieg und damit auch am Klimawandel zugeschrieben (Salb et al. 2018). Wälder nehmen in der Diskussion um den Klimawandel eine besondere Stellung ein, da sie in der Lage sind, Kohlenstoff zu speichern und damit dem steigenden CO<sub>2</sub>-Gehalt in der

Atmosphäre entgegen zu wirken. Dabei können sie durch Luftbefeuchtung auch kleinklimatische Verhältnisse beeinflussen und besonders warme Gebiete abkühlen (Burschel und Weber 2001).

Bäume binden  $\text{CO}_2$  im Rahmen der natürlichen Photosynthese, dabei nutzen sie Kohlenstoff (C), um Biomasse zu bilden. Den Kohlenstoff erhalten sie, indem sie unter Einfluss von Sonneneinstrahlung und Zugabe von Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) das in der Luft vorkommende  $\text{CO}_2$  in Glucose ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) umwandeln und zur Bildung von Biomasse einspeichern. Ein dabei entstehendes Restprodukt ist der lebenswichtige Sauerstoff ( $\text{O}_2$ ), der im Kapitel 4.3.2 näher betrachtet wird. (Spektrum.de 2021)

Weltweit steigen dem Pariser-Klimaabkommen zum Trotz die  $\text{CO}_2$  Emissionen deutlich an, wobei Energiewirtschaft, Industrie und der Verkehr die Hauptverursacher sind (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie 2017; Kielon 2020). Dem gegenüber steht der Wald in Deutschland, der laut des Thünen-Instituts jährlich die Atmosphäre um ca. 62 Mio. Tonnen  $\text{CO}_2$  entlastet und damit etwa 7% der Deutschen Emission kompensiert (Thünen-Institut für Waldökosysteme 2019). Erfreulich ist dennoch, dass es im Zeitraum von 2014 bis 2017 eine Steigerung der jährlichen  $\text{CO}_2$  Senkleistung von 52 Mio. Tonnen  $\text{CO}_2$  auf 62 Mio. Tonnen  $\text{CO}_2$  gegeben hat (Johann Heinrich von Thünen-Institut 08.09.2014 und Thünen-Institut für Waldökosysteme 2019). Es bleibt allerdings abzuwarten, wie sich die Kalamitäts- und Sturmwurfflächen auf die  $\text{CO}_2$  Senkleistung in der Bundeswaldinventur 3 im Jahr 2022 auswirken. Wälder leisten damit einen wichtigen bisher kostenlosen Beitrag für die  $\text{CO}_2$  Bindung und damit für die Bekämpfung des Klimawandels.

Die Inwertsetzung der Senkleistung für die Mendener Waldflächen orientiert sich an der Berechnung von Paul (2020). Unter Einbeziehung der von Paul (2020) recherchierten und gemittelten Werte der Frisch- und Darrgewichte der Baumarten (BA) je Festmeter (fm) wird je Baumart die Differenz beider Werte ermittelt. Die Differenz dient als Faktor mit dem die laufenden jährlichen Zuwächse/ha/a (fm) aus der Forsteinrichtung multipliziert werden. Dieser Schritt ist nötig, da sich die Berechnungen zum Kohlenstoffgehalt von Holz in der Literatur auf Holz im darrtrockenen Zustand beziehen, während sich die Forsteinrichtung auf frisches Holz bezieht. Im Großteil der Literatur findet sich ein Wert von 50% Kohlenstoff auf 1 fm darrtrockenen Holzes (Diestel und Weimar 2014; Lohmann 2012). Im Folgenden wird das Produkt des laufenden Zuwachses (fm/ha/a) mit dem Faktor 0,5 multipliziert, um die Masse des Kohlenstoffes (C) pro Hektar und Jahr zu ermitteln (t C pro ha/a). Mit dem Oxidationsfaktor von 3,67 wird der Kohlenstoff (C) zu Kohlenstoffdioxid ( $\text{CO}_2$ ) umgerechnet, mit dem Ergebnis der jährlichen  $\text{CO}_2$  Senkleistung der einzelnen BA pro Hektar ( $\text{CO}_2/\text{ha}/\text{BA}$ ) (vgl. Anhang Tabelle: XII Bsp.-Rechnung im Anhang, Berechnung II). Die Inwertsetzung der Senkleistung der Wälder erfordert eine Umrechnung von Kohlenstoff zu

seinem CO<sub>2</sub>, da sich in der Klimadiskussion und im CO<sub>2</sub> Zertifikathandel auf den CO<sub>2</sub> Entzug aus der Luft bezogen wird.

Die durch Käferkalamitäten geschädigten Fichtenflächen werden in die Berechnung mit einbezogen, obwohl sie aktuell keine oder nur eine geringe Senkleistung aufzeigen. Es ist allerdings davon auszugehen, dass diese Flächen in Zukunft durch Jungbewuchs wieder zur CO<sub>2</sub>-Senkleistung des Waldes beitragen.

Die folgende Inwertsetzung der CO<sub>2</sub>-Speicherung der Waldfläche Menden bezieht sich nur auf die oberirdische Speicherung der Bäume, würde die Speicherkapazität des Bodens mitaufgenommen werden, wäre der errechnete Wert deutlich höher.

Der monetäre Wert der CO<sub>2</sub>-Senkleistung des Stadtwaldes Menden wird anhand der Preise von CO<sub>2</sub>-Zertifikaten des nationalen Emissionshandels berechnet. Der nationale Emissionshandel wurde am 01. Januar 2021 eingeführt und legt bis zum Jahr 2025 jährlich steigende Festpreise von 25 bis 55 € für die Tonne CO<sub>2</sub> fest. Nach Ende der Einführungsfrist soll eine Evaluation über die zukünftige Art der Preisbildung entscheiden, wobei sich dieser insgesamt am freien Markt bilden soll. Am 01. Januar 2022 steigt der Preis pro Tonne CO<sub>2</sub> von 25 auf 30 € an und bildet damit die Grundlage für die abschließende Berechnung der Senkleistung (Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2021). Anschließend wird die durchschnittliche Senkleistung aller BA (7,95 t/ha/a) mit dem aktuellen Zertifikatspreis (30 €/t) und der Gesamtfläche (578,28 ha) verrechnet. Es ergibt sich dabei ein Wert von 137.916,56 €/a für die gesamte Fläche und 238,49 €/ha/a pro Hektar.

Tabelle 5: Berechnung der CO<sub>2</sub>-Senkleistung, verändert nach Paul (2020)

| CO <sub>2</sub> Speicherart | Preis CO <sub>2</sub> - Zertifikat [€/t] | Senkleistung [t/ha/a] | Holzbodenfläche [ha] | Ergebnis [€/a] | Ergebnis [€/ha/a] |
|-----------------------------|--|-----------------------|----------------------|----------------|-------------------|
| Oberirdische Biomasse       | 30,00 €                                  | 7,95                  | 578,28               | 137.916,56 €   | 238,49 €          |
| Ohne Fichte                 |  | 6,96                  | 454,56               | 94.863,85 €    | 208,69 €          |

#### 4.3.2 O<sub>2</sub> Produktion

Anhand der Photosynthese entziehen Bäume der Umgebungsluft CO<sub>2</sub> und wandeln es zusammen mit Wasser (H<sub>2</sub>O) mit Hilfe von Lichtenergie in Glucose(C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>) und Sauerstoff (O<sub>2</sub>) um. Der Sauerstoff, der dabei entsteht, ist ein Restprodukt dieses Prozesses und wird über die Spaltöffnungen der Blätter an die Atmosphäre abgegeben. (Spektrum.de 2021) Die Berechnung der O<sub>2</sub>-Produktion des Stadtwaldes erfolgt anhand der Photosynthesegleichung und der bekannten CO<sub>2</sub>-Senkleistung von 7,95 t/ha/a (7.950 kg/ha/a), eine stöchiometrische Umformung. Es ergibt sich ein Wert von 5.723,87 kg

O<sub>2</sub>/ha/a als Äquivalent für 7.950 kg CO<sub>2</sub>/ha/a. Sauerstoff wird in Kubikmeter gehandelt und muss daher für eine Inwertsetzung umgerechnet werden, dies geschieht anhand eines Umrechnungsfaktors von 1,337 kg/m<sup>3</sup> (Sieberth 2014). Daraus ergibt sich ein Wert von 4.281,13 m<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/ha/a als Sauerstoff-Produktionsleistung.

Die Monetäre Inwertsetzung der Sauerstoffproduktion wird mittels des Vergleiches der Kosten einer alternativen technischen Sauerstoffproduktion errechnet. Sieberth (2014) hat im Rahmen einer Marktabfrage Mindestkosten in Höhe von 0,15 €/m<sup>3</sup> recherchiert.

Der Stadtwald Menden produziert unter Annahme dieser Daten Sauerstoff im Wert von 371.353,48 €/a pro Jahr auf einer Fläche von 578,28 ha. Für den Hektar bedeutet das einen Wert von 642,17 €.

*Tabelle 6: Berechnung der O<sub>2</sub>-Produktion verändert nach Paul (2020)*

| CO <sub>2</sub> -Senke<br>[kg/ha/a] | O <sub>2</sub> Produktion<br>[kg/ha/a]               | Umrechnungsfaktor<br>auf [m <sup>3</sup> ] | O <sub>2</sub> -Produktion<br>[m <sup>3</sup> /ha/a] |                      |
|-------------------------------------|--|--|--|----------------------|
| 7.949,81                            | 5.723,87   | 1,337                                      | 4.281,13   |                      |
| Waldfläche<br>Menden                | O <sub>2</sub> -Produktion<br>[m <sup>3</sup> /ha/a] | Preis [€]                                  | Ergebnis [€/a]                                       | Ergebnis<br>[€/ha/a] |
| 578,28                              | 4.281,13   | 0,15 €                                     | 371.353,48 €   | 642,17 €             |

#### 4.3.3 Staubfilterleistung

Die Luftverschmutzung durch Feinstaub und andere Schadstoffe stellt eine starke Beeinträchtigung für die Umwelt und die Gesundheit dar, als die wichtigsten Luftschadstoffe werden Feinstaub, Stickstoffdioxid und Ozon genannt. (Europäische Umweltagentur 2020). Alleine in Deutschland gibt es pro Jahr bis zu 47.000 Todesfälle infolge hoher Feinstaubbelastungen (Kallweit und Wintermeyer 2013). Obwohl es durch internationale Regelungen (2008/50/EG) und modernere Filtertechniken zu einem erheblichen Rückgang der Luftschadstoffe in Europa gekommen ist, ist deren Konzentration immer noch zu hoch. Großstädte und stark urbanisierte Gebiete, in denen ein Großteil der Europäer leben, sind besonders betroffen. In Städten sind etwa 90% der Bevölkerung zu hohen Schadstoffbelastungen ausgesetzt. Die Hauptverursacher der Luftverschmutzung bleiben die Verbrennung fossiler Brennstoffe in der Energiewirtschaft, dem Verkehr und Industrie. Hinzu kommen die Landwirtschaft, Abfallwirtschaft und der Einsatz spezieller Lösungsmittel in der Chemieindustrie. (Vgl. Europäische Umweltagentur 2020).

Bäume sind in der Lage erhebliche Mengen von Schadstoffen und Feinstaub aus der Atmosphäre über ihre Blätter und Nadeln aufzunehmen und zu Binden (Jordi und Biel 2005). Dabei werden die Staubpartikel und Gase aus der Umgebungsluft auf der

Blattoberfläche gebunden oder direkt in Blätter eingelagert (Janhäll 2015). Somit können Wälder einen Beitrag zur Minimierung der Feinstaubbelastung beitragen, vor allem im urbanen Raum, wo sie als Barriere für verkehrsbedingte Luftschadstoffe dienen können (Säumel et al. 2012).

Die verstärkte Aufnahme von Luftschadstoffen kann zu Eutrophierung der Waldflächen und zu höheren Schadstoffbelastungen im Grundwasser unter Wäldern führen (Jordi und Biel 2005; Europäische Umweltagentur 2020).

Ein Baum kann laut Bade et al. (2008) ca. 100 g Feinstaub aus der Luft aufnehmen, dabei ermittelten sie einen wirtschaftlichen Wert von 2 €/Waldbaum/a für die Kostenreduzierung der Feinstaubemissionen. Krautige Vegetation ist ebenfalls in der Lage Luftschadstoffe aufzunehmen, sodass auch Waldränder, oder Kalamitätsflächen zur Feinstaubfilterung beitragen (Weber et al. 2014).

Die Inwertsetzung der Staubfilterleistung erfolgt in Anlehnung an Paul (2020) und Pilz (2021) anhand der Ertragstafel-Werte von Schober (1995). Laut Ertragstafel befinden sich auf einer Waldfläche von einem Hektar 100 bis 150 Zukunftsbäume (Schober 1995). Allerdings haben sich seit Einführung der Ertragstafeln die Form des Waldbaus und der Wuchsbedingungen stark verändert, so dass sie heutzutage nur noch Annäherungswerte darstellen können (Pretzsch et al. 2014). Bei einem Wert von 2 €/Baum/Jahr und einer Filterleistung von 100 g/Feinstaub pro Baum ergibt sich bei 150 Bäumen ein Hektarwert von 250,00 € und eine Filterleistung von 10-15 kg/ha/a. Für die gesamte Waldfläche der Stadt Menden ergibt sich dabei ein Wert von 144.570,00 € pro Jahr.

Tabelle 7: Berechnung der Feinstaubfilterleistung, verändert nach Sieberth (2014)

| Menge [kg/ha/a] | Wert [€/Baum/Jahr] | Quelle             | Hektarwert [€/ha/a] | Fläche | Erlös [€]    |
|-----------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------|--------------|
| 10              | 2,00 €             | Bade et al. (2008) | 250,00 €            | 578,28 | 144.570,00 € |

#### 4.4 Lärmschutz

Lärm stellt eine bedeutende Belastung für die physische und psychische Gesundheit der Bevölkerung Europas dar (Weltgesundheitsorganisation (WHO) 2018). Eine dauerhafte Lärmbelästigung kann zu Erkrankungen des Herzkreislaufsystems, Stress, Schlafstörungen, sowie zu einem Tinnitus führen (Theakston 2011). Die EU-Umgebungslärm-Richtlinie von 2002 unterscheidet grundsätzlich zwischen Verkehrs-, Gewerbe und Industrielärm, sowie Freizeit- und Nachbarschaftslärm als Lärmquellen (Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union 2002). Der Hauptverursacher

für Lärm in Europa ist der Straßenverkehr, der durch die steigende Masse an Autos immer relevanter wird (European Environment Agency (EEA) 2014).

In Menden sind die Bundes- und Landstraßen, die sich durch das Stadtgebiet ziehen, die Hauptverursacher von Lärm. Zusätzlich schirmen Teile der Waldflächen vom Haunsberg und der Waldemei Siedlungsflächen vom Lärm des nahen Steinbruchs im Hönnetal ab.

Wälder können einen positiven Einfluss auf den Lärm in der Stadt entwickeln und so die Lärmbelastung verringern. Sie können über eine Vergrößerung der Distanz zwischen Lärmquelle und Empfänger sowie der Adsorption, Reflektion und Streuung des Schalls, durch den Struktureichtum aus Blättern, Stämmen und Ästen eine direkte lärmindernde Wirkung erzielen. Dieser Wert wird meist überschätzt und beträgt nur eine Spannbreite von 5-11 dB (Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden- Württemberg 2018) Eine indirekte Lärminderung kann durch die subjektive Wahrnehmung von Lärm entstehen. Dabei kommt die positive Bewertung von natürlichen Geräuschen wie Vogelgezwitscher und Blätterrauschen als Überlagerung des Umgebungslärms zum Tragen und die visuelle Trennung von der Lärmquelle. (Vgl. TEEB Deutschland 2016)

Die Lärmschutzwirkung des Waldes, die laut Bergen und Pfister (1992) eine Lärminderung von 11 dB erreicht, kann sich positiv auf den Wohnwert von Siedlungsflächen auswirken. Anhand eines Vergleichs von Analysen durch Borjans (1983) zur erhöhten Zahlungsbereitschaft nach lärmindernden Maßnahmen lässt sich eine Grundstückswertsteigerung von 5,5% ermitteln. Umgelegt auf die von Borjans (1983) beobachtete Waldfläche ergibt sich ein Lärminderungswert von 71,27 €/ha/a.

In Anlehnung an Sieberth (2014), Wissenberg (2019), Paul (2020) und Pilz (2021) wird die Bewertung der Lärmschutzleistung des Mendener Stadtwaldes in Flächen mit hoher Lärmschutzfunktion und Waldflächen mit niedriger Lärmschutzfunktion unterteilt. Die Waldflächen mit einer hohen Lärmschutzfunktion wurden anhand der Daten der Umgebungslärmkartierung NRW aus dem Jahr 2017 ermittelt (NRW Opendata 2018). Dabei wurden die Waldflächen im Stadtbesitz mit den Daten der Lärmkartierung für einen 24 Stunden Schallpegel zwischen 45 dB und 75 dB in QGIS verschnitten (vgl. Anhang Abbildung I). Als Ergebnis der Verschneidung ergab sich eine Waldfläche mit einer hohen Lärmschutzfunktion von 20,70 ha. Die Waldflächen mit niedriger Lärmschutzfunktion (606,53 ha) tragen immer noch, wenn auch geringer zu einer Reduzierung der Lärmbelastung bei, sie werden mit einem Faktor von 50% in die Berechnung einbezogen (vgl. Sieberth 2014). Insgesamt ergibt sich ein Wert von 23.088,90 €/a für die Lärmschutzleistung der Waldflächen der Stadt Menden, für den Hektar bedeutet das einen Wert von 36,81 €/ha/a (vgl. Tabelle 8)

Tabelle 8: Berechnung der Lärmschutzleistung, verändert nach Wissenberg (2019)

| Variante                    | Wert [€/ha/a] | Faktor | Quelle               | Fläche | Ergebnis [€/a] | [€/ha]  | Gesamt [€/a] | [€/ha/a] |
|-----------------------------|---------------|--------|----------------------|--------|----------------|---------|--------------|----------|
| Hohe Lärmschutzfunktion     | 71,27         | 1      | Bergen ET AL. (1992) | 20,70  | 1.475,12 €     | 71,27 € | 23.088,90 €  | 36,81 €  |
| Niedrige Lärmschutzfunktion |               | 0,5    |                      | 606,53 | 21.613,78 €    | 35,64 € |              |          |

#### 4.5 Siedlungswert

Wälder in Siedlungsnähe tragen zur Lebensqualität der Bewohner bei. Die Siedlungen profitieren von den verschiedenen Ökosystemleistungen der Wälder, wie dem oben beschriebenen Lärmschutz, den kleinklimatischen Auswirkungen, der Frischluftproduktion und der Nähe zum beliebten Erholungsraum Wald. Diese Leistungen wirken sich, neben Anbindung und Infrastruktur auch auf die Immobilienbewertung aus (TEEB Deutschland 2016).

Bergen und Pfister (1992) ermittelten eine Wertsteigerung bebauter oder bebaubarer Grundstücke von 1,03 €/m<sup>2</sup>, welche umgelegt auf die untersuchte Waldfläche einer Wertsteigerung von 392,67 €/ha/a entspricht.

In Anlehnung an Sieberth (2014), der bei Wäldern von einem wertsteigernden Einflussbereich von 300 Metern auf Siedlungsflächen ausgeht, wurde in QGIS ein digitaler Puffer von 300 m um alle Siedlungsflächen gelegt (vgl. Anhang Abbildung II) Die Waldflächen innerhalb des Puffers (192 ha) wurden anschließend mit dem von Bergen und Pfister (1992) ermittelten Wert in Höhe von 392,67 €/ha/a verrechnet. Daraus ergibt sich für die Stadt Menden ein Wert von 75.326,58 €/a und bezogen auf die Gesamtfläche ein Hektarwert von 120,86 €. (Vgl. Tabelle 9)

Tabelle 9: Berechnung des Siedlungswertes, angepasst nach Sieberth (2014)

| Wert [€/ha/a] | Quelle                  | Fläche in Menden [ha] | Ergebnis [€/a] | Ergebnis [€/ha/a] |
|---------------|-------------------------|-----------------------|----------------|-------------------|
| 392,67 €      | Bergen & Pfister (1992) | 192                   | 75.326,58 €    | 120,86 €          |

#### 4.6 Erholung

Der Wald ist ein wichtiger Erholungsraum für die Bevölkerung Deutschlands. Für 90% der Deutschen ist laut einer repräsentativen Umfrage des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (2017) der Wald ein wichtiger Ort für das Naturerleben und -

beobachten. 77% der befragten Personen gaben an, dass sie den Wald als wichtigen Raum für Sport, Erholung und Freizeit betrachten, während ca. 66% den Wald eher mit „Ruhe“ und „Erholung“ assoziieren (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2017, S. 141).

§14 des Bundeswaldgesetzes besagt, dass das Betreten des Waldes zum Zwecke der Erholung gestattet ist, daher sind und bleiben Waldbesuche auch weiterhin kostenlos. Dennoch hat auch die Erholung einen Wert, der in zahlreichen Studien näher untersucht wurde (vgl. Anhang Tabelle II-VI). Für die monetäre Bewertung der Erholungsleistung von Wäldern haben sich zwei Bewertungsmethoden durchgesetzt, die Reisekostenmethode (TCM) und die Kontingente-Bewertungsmethode (CVM) (Elsasser 1996).

Die Reisekostenmethode (TCM) bewertet Kosten und Aufwand, welchen Waldbesuchende bereit sind für den Weg zum Wald zu investieren (Elsasser 1996). Anhand der Entfernung zum Wald und Häufigkeit der Besuche kann eine Einschätzung der Nachfrage bestimmter Waldgebiete erfolgen (TEEB Deutschland 2016).

Bei der Kontingente-Bewertungsmethode wird hingegen die potentielle Zahlungsbereitschaft der Waldbesuchenden anhand von Umfragen ermittelt (Elsasser 1996). Umfragen zur Zahlungsbereitschaft sind in den meisten Fällen mit Problemen verbunden, da sie keinem einheitlichen Konzept folgen und unter Einbeziehung verschiedenster (regionaler) Aspekte erstellt werden müssen. Das macht diese Methode sehr komplex und arbeitsintensiv und liefert im Endeffekt eine hohe Bandbreite an Ergebnissen. Die CVM-Methode ist umstritten, da die Aussagen zur Zahlungsbereitschaft der Waldbesuchenden aufgrund der aktuellen Gesetzeslage ohne Konsequenzen für sie bleiben. Daher kommt es bei der CVM-Methode häufig zur Überschätzung der Zahlungsbereitschaft (TEEB Deutschland 2016).

Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit ähnlichen Studien (Sieberth 2014; Wissenberg 2019; Paul 2020; Pilz 2021) und der Komplexität erfolgt eine Auswertung der gemittelten Daten aus der Literatur mit einer Übertragung auf die Verhältnisse in Menden.

In Anlehnung an Wissenberg (2019), Paul (2020) und (Pilz 2021) wird Waldbesucherhäufigkeit anhand verschiedener Studien genutzt, um diese auf die 52.452 Einwohner Mendens zu übertragen (vgl. Anhang, Tabelle II bis VIII). Die ermittelten Besuchendenzahlen von Menden werden im nächsten Schritt mit Studien, die die Waldbesuchergewohnheiten in Deutschland untersucht haben, verrechnet. Die genutzten Besucherstudien ermitteln die Werte der Zahlungsbereitschaft pro Jahr oder pro Tag (vgl. Anhang, Tabelle IX und Tabelle X).

Für die Inwertsetzung der Erholungsleistung wurden jeweils die Mittelwerte der hypothetischen Zahlung pro Tag (2,46 €) oder Jahr (146,25 €) gebildet und mit den Waldbesuchen in Menden verrechnet. Dabei ergab sich ein Wert von 6.856.050,09 €/a bei einer jährlichen Abgabe, während eine Tagesabgabe einen Wert von 7.117.658,77 €/a erreicht. Auf einen Hektar bezogen ergeben sich bei einer jährlichen Abgabe eine Zahlungsbereitschaft von 10.930,68 €/ha/a und bei einer täglichen Abgabe eine Zahlungsbereitschaft von 11.347,77 €/ha/a.

*Tabelle 10: Berechnung des Erholungswertes, angepasst nach Siebert (2014)*

| Variante         | Wert [€] | Besucher/ Besuche | Ergebnis [€/a] | Waldfläche | Ergebnis [ha/a] |
|------------------|----------|-------------------|----------------|------------|-----------------|
| Jährliche Abgabe | 146,25   | 46.879            | 6.856.050,09 € | 627,23     | 10.930,68 €     |
| Tägliche Abgabe  | 2,46     | 2.893.357         | 7.117.658,77 € | 627,23     | 11.347,77 €     |

#### 4.7 Kostenstelle Wald

Die Öffnung des Waldes für die erholungssuchende Bevölkerung ist mit Kosten für die Waldbesitzenden verbunden. Die nötige Infrastruktur, wie Wege, Bänke, Informationstafeln und die immer stärker erwartete Verkehrssicherung bedeuten einen hohen finanziellen und personellen Aufwand für Privatpersonen und Gemeinden mit Waldbesitz, den einige nicht bereit sind zu leisten.

In Menden müssen 26 km Wirtschafts- und Wanderwege regelmäßig gepflegt werden. Auf den 10 Rundwanderwegen mit 41 Schildern finden sich insgesamt 70 Bänke und 35 Papierkörbe. 3,8 km Waldsportpfad mit verschiedenen Geräten und die 2,4 km Waldlehrpfad mit 62 Infotafeln müssen regelmäßig gepflegt und instandgehalten werden. Zusätzlich müssen alle baulichen Einrichtungen mindestens jährlich geprüft werden und es muss eine Verkehrssicherung im Umkreis von 30 m erfolgen (Gebhard 2007). Auch einzelne Projekte wie ein rollstuhl- und rollatorgerechter Weg verursachen Extrakosten. (vgl. Basse 12.03.21)

Anhand der geleisteten Arbeitsstunden des Jahres 2020 in den Bereichen Verkehrssicherung, Baumkontrolle und der Natur- und Landschaftspflege, zu der die Wegepflege und Instandhaltung der Erholungseinrichtungen gehört, sowie den Kosten für die Herstellung von Bänken, sollen die Kosten für die Bereitstellung der Erholungsleistung aufgezeigt werden. Die kommunale Gemeinschaftsstelle für Verwaltungsmanagement (KGSt 2020) kalkuliert eine Forstwirtstunde mit 41,45 € und laut Herrn Basse kostet eine Bank 250 €.

Anhand dieser Daten lassen sich im Jahr Gesamtkosten von 111.881,65 €/a erwarten, für den Hektar bedeutet das Kosten von 150,47 €/ha/a.

Tabelle 11: Kosten der Erholungsleistung

|                                     | Forstwirt<br>Stunden | Kosten<br>Forstwirt-<br>Stunde [€] | Quelle | Kosten [€/a]      | Gesamt-<br>kosten [€/a] | Gesamt-<br>kosten<br>[€/ha/a] |
|-------------------------------------|----------------------|------------------------------------|--------|-------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Natur und<br>Landschafts-<br>pflege | 1051,25              | 41,45 €                            | KGSt   | 43.574,31 €       | 94.381,65 €             | 150,47 €                      |
| Baum-<br>kontrolle                  | 647,5                |                                    |        | 26.838,88 €       |                         |                               |
| Verkehrs-<br>sicherung              | 578,25               |                                    |        | 23.968,46 €       |                         |                               |
| Bänke                               | Kosten<br>Bank [€]   | Kosten [€]                         |        | Gesamt-<br>kosten | 111.881,65 €            |                               |
|                                     | 70                   | 250,00 €                           |        |                   |                         |                               |
|                                     |                      | 17.500,00 €                        |        |                   |                         |                               |

#### 4.8 Artenschutz und Biodiversität

Wälder sind vielfältige Ökosysteme die sowohl den verschiedensten Tier- und Pflanzarten als auch Pilzen und Mikroorganismen einen Lebensraum bieten. Die vielschichtigen Waldstrukturen ermöglichen die hohe dichte an Arten mit den verschiedensten Anforderungen an ihren Lebensraum. Ohne vielfältige Wälder mit ihren Nahrungsangebot und Deckungs-, Rückzugs und Brutmöglichkeiten ist ein Überleben einiger Arten nicht möglich. (Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (SDW) 2021; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2019; Wissenberg 2019).

Die vielfältigen Strukturen natürliche Wälder entstehen über sehr lange Zeiträume durch zufällige Ereignisse wie Feuer und Stürme, während forstwirtschaftliche Maßnahmen für kleinflächigen Strukturreichtum sorgen (Schmidt 2015). Dabei erfüllen laut des BMEL (2019) vor allem bewirtschaftete Wälder wichtige Natur- und Artenschutzfunktionen in einem hohen Maße. Art und Weise der Bewirtschaftung beeinflussen den Erhalt und die Qualität der Lebensräume. Naturnahe Bewirtschaftungsformen mit standortgerechten, vielschichtigen und strukturreichen Wäldern fördern die biologische Vielfalt (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) 2015). Das BMUB (2015) gibt in seinem Indikatorbericht von 2014 an, dass solche Wälder einen ausreichenden Alt- und Totholzanteil garantieren und für spezialisierte Tier- und Pflanzenarten die passenden Lebensräume bieten.

Zertifizierungssysteme wie PEFC ermöglichen es, naturnahe Waldbewirtschaftung im großen Stile zu fördern und erhalten, während sie gleichzeitig Vorteile am internationalen

Holzmarkt bieten (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) 2015).

Die in Deutschland weit verbreitete naturnahe, multifunktionale Forstwirtschaft trägt viel zum Natur- und Artenschutz bei, ist aber gleichzeitig mit Mehrkosten durch einen erhöhten Pflegeaufwand verbunden (Wissenberg 2019). Seintsch et al. (2012) stellte fest, dass die Ausweisung von Habitatbäumen zum Verlust von Produktionsflächen und einer erhöhten Gefährdung während der Holzernte führen. Die höheren laufenden Verwaltungs- und Holzerntekosten beeinflussen die Betriebskosten zusätzlich (Seintsch et al. 2012). Laubreiche Mischwälder werden in der naturnahen Waldbewirtschaftung bevorzugt, daher werden Nadelreinbestände auf Kosten ertragreicher Fichtenkulturen immer weiter in Mischbestände überführt (Möhring und Rüping 2006). Staatliche und Supranationale (EU) Förderung geben dennoch Anreize, Waldflächen möglichst naturnah und Sinne des Arten- und Biodiversitätsschutzes zu belassen oder zu gestalten (ForstBW 2018).

Der Natur- und Artenschutz genießt in der Bevölkerung einen hohen Stellenwert und mehrere Studien belegen diesbezüglich eine gewisse Zahlungsbereitschaft (vgl. Anhang Tabelle XI). In Anlehnung an Sieberth (2014), Wissenberg (2019), Paul (2020) und Pilz (2021) werden diese Studien zur Inwertsetzung der Ökosystemleistung „Artenschutz und Biodiversität“ genutzt. Die Werte in den Studien beziehen sich auf €/Haushalt, die monatlich oder jährlich als Abgabe geleistet werden.

In Menden gibt es 23.958 Haushalte (GEOfy 2020). Für die Inwertsetzung werden diese mit der Zahlungsbereitschaft (€/Haushalt) multipliziert. Dabei ergibt sich für die jährliche Zahlung ein Wert von 1.109.306,25 €/a und bei einer monatlichen Zahlung ein Wert von 2.587.501,80 €/a. Runtergebrochen auf einen Hektar ergeben sich Werte von 1.768,58 €/ha/a bei einer jährlichen Zahlung und 4.125,28 €/ha/a bei der monatlichen Variante.

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

| Variante         | Wert [€] | Faktor | Quellen         | Haushalte | Ergebnis [€/a] | Waldfläche Menden | Ergebnis [€/ha/a] |
|------------------|----------|--------|-----------------|-----------|----------------|-------------------|-------------------|
| €/Haushalt/Monat | 8,99     | 12     | Tab. XI, Anhang | 23.985    | 2.587.501,80 € | 627,23            | 4.125,28 €        |
| €/Haushalt/Jahr  | 46,25    | 1      |                 |           | 1.109.306,25 € |                   | 1.768,58 €        |

#### 4.9 Sonstige Leistungen

Unter „Sonstige Leistungen“ sollen jene Ökosystemleistungen verstanden werden, die aufgrund einer mangelnden fundierten Datenlage noch nicht allgemein monetär bewertet werden können. Oder solche, die sich zwar in Wert setzen lassen, es aber keine sie

betreffenden Flächen im Projektgebiet gibt. Da sie aber dennoch einen wichtigen Beitrag zur Lebensqualität der Menschen leisten, sollen sie im Folgenden verbal beschrieben werden.

#### **4.9.1 Gesundheitsleistung**

Dass Wälder und Stadtnatur einen positiven Einfluss auf die menschliche Gesundheit und das Wohlergehen haben, wird allgemein anerkannt und wurde bereits in vielen Studien behandelt. Aufenthalte zeigen demnach mehrheitlich positive Einflüsse auf die mentale- und körperliche Gesundheit, sowie dem sozialen Miteinander. Eine grüne Umgebung ist in der Lage, das Wohn- und Arbeitsumfeld aufzuwerten und so die Leistungsfähigkeit und Zufriedenheit der Anwohner\*innen zu verbessern. (Vgl. TEEB Deutschland 2016, S. 98ff) Die positiven Wirkungen von Wäldern werden teilweise durch die bereits beschriebenen Leistungen, wie der Sauerstoffproduktion, der Staubfilterleistung und dem Lärmschutz erreicht, da sie dazu beitragen, Gesundheitsrisiken vorzubeugen.

Starke UV-Einstrahlung und hohe Temperaturen über Tag und Nacht in Wärmeinseln gefährden immer häufiger die Gesundheit der Stadtbevölkerung. Dem können Wälder und Einzelbäume durch Schattenwurf, Verdunstungskühle und nächtlicher Kaltluftproduktion entgegenwirken (vgl. (TEEB Deutschland 2016; Claßen und Bunz 2018).

Regelmäßige Waldbesuche sind in der Lage, die Produktion von Stresshormonen zu hemmen und können dadurch Blutdruck senkend wirken (Claßen und Bunz 2018). Für Claßen und Bunz (2018) ist der Wald ein „unbelasteter Begegnungs- und Kommunikationsraum“, der Integration ermöglicht und das soziale Wohlbefinden fördert. Indirekt kann der Wald auch das Gesundheitsverhalten der Anwohner\*innen beeinflussen und mehr Bewegung fördern (Claßen und Bunz 2018).

Takano et al. (2002) bescheinigen Wäldern und Stadtnatur eine diverse, umfassende und präventive positive Wirkung auf die Gesundheit, die sich auch positiv auf das Immunsystem der Bevölkerung auswirkt (Schuh und Immich 2013).

Das Gesundheitssystem dürfte im Anbetracht der Leistungen des Waldes deutlich entlastet werden, aber eine monetäre Bewertung dieser Leistungen entfällt durch einen Mangel an einer belastbaren Datengrundlage. So bleibt am Ende festzuhalten, dass Wälder und Stadtnatur einen großen Beitrag zum menschlichen Wohlbefinden und Gesundheit leisten.

#### **4.9.2 Luftbefeuchtung und Temperaturregulierung**

Der mit dem Klimawandel verbundene Temperaturanstieg sorgt für eine Häufung von trockenen und heißeren Sommern. Vor allem in Städten mit einem hohen Versiegelungsgrad sorgen die höheren Temperaturen für Probleme, da sich dort

Wärmeinseln bilden können und damit die Gefahr von vermehrten Sterbefällen steigt (TEEB Deutschland 2016).

Wälder, Einzelbäume und andere Grünflächen können durch ihre nächtliche Kaltluftproduktion die nähere Umgebung um bis zu 5 °C abkühlen und so tropische Nächte, mit Temperaturen über 20 °C verhindern (TEEB Deutschland 2016). Schattenwurf und Verdunstungskühlung wirken den hohen Temperaturen am Tag entgegen und verhindern so ein weiteres Aufheizen (TEEB Deutschland 2016). Kalt- und Frischluftschneisen können kühle Luft aus den Grüngürteln in die Innenstadtbereiche leiten. Es gibt bisher keine praktikablen Alternativen für Stadtnatur, daher ist deren Erhalt und Förderung von entscheidender Bedeutung für das Leben in der Stadt.

#### **4.9.3 Erosionsschutz**

Der Erosionsschutz ist eine wichtige Ökosystemleistung, die Wälder in Berg- und Hügellandschaften wie dem Sauerland erbringen. Da sich aber die Inwertsetzung nach Sieberth (2014) mit Bezug auf Moog und Püttmann (1986) auf Hangflächen ab 27% Steigung bezieht, wurde in Ermangelung solcher Flächen im Stadtbesitz Mendens von einer Inwertsetzung abgesehen (vgl. Stadt Menden 2021b).

Mit ihren stark durchwurzelten Böden befestigen Wälder Hänge und reduzieren so das Risiko von Erdrutschungen. Eine ständige Bestockung von Hangwäldern schützt vor Materialabtrag durch Wasser- und Winderosion. (Vgl. Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 2021). Dabei spielen Artenzusammensetzung und Bestandesstruktur eine wichtige Rolle. Rickli et al. (2004) werteten aus, dass dichte standortgerechte Bestände bessere Schutzfunktionen als lockere Wälder aufzeigen.

#### **4.9.4 Wildbret und Jagd**

Unter Wildbret wird das gesamte zum Verzehr geeignete Fleisch von allen dem Jagdrecht unterstehenden Tieren verstanden. Wildfleisch gilt als besonders gesund und schmackhaft bei einem hohen Vitamin- und Mineralstoffgehalt (Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (Laves) 2021). Allerdings ist der Pro-Kopfverbrauch in Deutschland sehr gering, so dass ihm keine bedeutenden Marktanteile zugerechnet werden (Vgl. (Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (Laves) 2021; Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) 2018).

Die Waldfläche in Menden wird verpachtet und erzeugt somit kein Wildbret für den öffentlichen Markt. Dennoch nehmen sie insgesamt eine jährliche Jagdpacht von

ca. 9.000 € für beide verpachteten Revierteile ein, die in der abschließenden Gesamtkalkulation mitberücksichtigt werden.

Tabelle 13: Berechnung der Jagdpacht

| Reviere       | Pacht [€/a]       |
|---------------|-------------------|
| Waldemei      | 6.000,00 €        |
| Rothenberg    | 3.000,00 €        |
| <b>Gesamt</b> | <b>9.000,00 €</b> |

#### 4.10 Gesamtkalkulation

Insgesamt leistet der Stadtwald Mendens Ökosystemleistungen im Wert von 14,05 Mio. € (14.055.136,97 €/a) im Jahr, für den Hektar bedeutet das einen Wert von 27.061,14 €/ha/a. Davon macht der Holzerlös nur einen Anteil von 1,21% aus, bei einem Mittelwert der Jahre 2015-2017 von 170.679,33 €/a. Der Holzerlös aus dem Jahr 2021 nach den Käferkalamitäten beläuft sich ohne die Fichte nur noch auf 31.434,00 €. Der größte Beitrag wird mit der Erholungsleistung mit 50,64% generiert, danach kommt mit Abstand die Retentionsleistung mit 35,51% Anteil an der Gesamtsumme. Die Kosten für Unterhalt und Pflege, sowie für Erholungseinrichtungen machen nur -0,8% der Gesamtsumme aus. (Vgl. Tabelle 14)

Es soll jedoch angemerkt werden, dass es sich hierbei um keine absoluten Werte handelt. Die ermittelten Werte sollen helfen, den Wert des Waldes und seiner vielfältigen Ökosystemleistungen zu veranschaulichen.

Tabelle 14: Gesamtkalkulation der Ökosystemleistungen

| Nutzung                          | Erläuterung                                  | Fläche          | Wertansatz | Wert/a                 | Wert/ha/a          | Prozentualer Anteil |
|----------------------------------|--|-----------------|------------|------------------------|--------------------|---------------------|
| <b>Holzerlös</b>                 | Holzerlös auf städtischen Flächen            | 578,28          | 60,00 €    | 170.679,33 €           | 295,15 €           | 1,21%               |
| <b>Wasser (Nitratfilterung)</b>  | Nitratfilterleistung                         | 578,28          | 0,08 €     | 16.966,44 €            | 29,34 €            | 0,12%               |
| <b>Wasser (Retention)</b>        | Rückhalt von Starkniederschlägen             | 578,28          | 13,02 €    | 4.991.152,32 €         | 12.496,00 €        | 35,51%              |
| <b>CO2-Adsorption</b>            | Senkleistung des Waldes                      | 587,28          | 30,00 €    | 137.916,56 €           | 238,49 €           | 0,98%               |
| <b>O2-Produktion</b>             | Sauerstoffproduktion des Waldes              | 578,28          | 0,15 €     | 371.353,48 €           | 642,17 €           | 2,64%               |
| <b>Lärmschutz</b>                | Summe hoher und niedriger Lärmschutzfunktion | 20,70<br>606,53 | 71,27 €    | 23.088,90 €            | 36,81 €            | 0,16%               |
| <b>Staubfilterung</b>            | Aufnahme Feinstaub                           | 500             | 2,00 €     | 144.570,00 €           | 250,00 €           | 1,03%               |
| <b>Siedlungswert</b>             | Wertsteigerung durch nahen Wald              | 192             | 392,67 €   | 75.326,58 €            | 120,86 €           | 0,54%               |
| <b>Erholung</b>                  | Wert Tageskarte                              | 627,23          | 2,46 €     | 7.117.658,77 €         | 11.347,77 €        | 50,64%              |
| <b>Artenschutz/Biodiversität</b> | Schutzfunktion des Waldes                    | 627,23          | 46,25 €    | 1.109.306,25 €         | 1.768,58 €         | 7,89%               |
| <b>Jagdrecht</b>                 | jährliche Pacht Zahlungen                    | 627,23          |            | 9.000,00 €             | 14,35 €            | 0,06%               |
| <b>Kosten</b>                    |  |                 |            |                        |                    |                     |
| <b>Erholungseinrichtungen</b>    | Kosten von Bänken                            | 627,23          | 250,00 €   | - 17.500,00 €          | - 27,90 €          | -0,12%              |
| <b>Unterhalt und Pflege</b>      | Personalkosten für Pflege                    | 627,23          | 41,45 €    | - 94.381,65 €          | - 150,47 €         | -0,67%              |
| <b>Gesamtsumme</b>               |  |                 |            | <b>14.055.136,97 €</b> | <b>27.061,14 €</b> | <b>100,00%</b>      |

## 5. Schlussfolgerung und Ausblick

Dass Wälder mehr leisten, als nur Holz zu liefern, ist längst in der Bevölkerung angekommen. Die Bewertung von Ökosystemleistungen ist in der öffentlichen Wahrnehmung angekommen und immer häufiger ein Thema von Diskussionssendungen oder in den Mediatheken der Öffentlich-Rechtlichen zu finden. Nicht zuletzt die Konflikte um den Hambacher-Tagebau und zahlreiche Proteste gegen den Bau von Autobahnen zeigen den hohen Stellenwert, der dem Wald von der Gesellschaft zugerechnet wird.

Die in dieser Studie errechneten Werte stellen keine absoluten Werte dar. Der Wert der Ökosystemleistungen kann variieren, je nachdem welche Ereignisse den öffentlichen Diskurs prägen. Sie sollen jedoch den enormen Wert aufzeigen, den Wälder jährlich erbringen können und sowohl in der Bevölkerung als auch in der Verwaltung ein Bewusstsein für die endliche Ressource Wald schaffen.

Dennoch ist die Holzproduktion bisher die einzige Ökosystemleistung, die vergütet wird. Großflächige Käferkalamitäten, Windwurfflächen und neuartige Baumkrankheiten haben in den letzten Jahren für große Schäden in den heimischen Wäldern und einen Einbruch der Holzwirtschaft gesorgt und einige Waldbesitzer um ihre Existenz gebracht. Die Bundesregierung hat daraufhin mit der Nachhaltigkeitsprämie eine Förderung für die nachhaltige Forstwirtschaft in zertifizierten Betrieben bewilligt, die 2021 an viele Betriebe ausgezahlt wurde (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2021b). Es bleibt allerdings bisher bei einer Förderung der Holzwirtschaft.

Die Leistung als CO<sub>2</sub>-Senke zeigt den hohen Stellenwert des Waldes im Kampf gegen den Klimawandel. Das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft plant die Klimaschutzleistungen von klimaresilienten Wäldern zu honorieren, dafür seien für das Jahr 2022 bereits 200 Mio. € im Rahmen des „Klimaschutz Sofortprogramm 2022“ eingeplant (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2021a). Geplant ist, die Klimaschutzleistungen nicht nur Maßnahmenbezogen zu fördern, sondern eine Zahlung für die CO<sub>2</sub>-Senkleistung. Langfristig soll ein Honorierungsmodell entstehen, das neben den Klimaschutzleistungen, auch solche wie den Natur- und Biodiversitätsschutz und die Erholungsleistungen berücksichtigt (vgl. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) 2021a). Es bleibt allerdings noch abzuwarten, wie sich diese Pläne in Zukunft unter der SPD geführten Koalition mit der FDP und den Grünen entwickeln werden.

Nach der Flutkatastrophe im Sommer 2021 mit über 180 Toten wird der Retentionsleistung des Waldes in dieser Studie mehr Beachtung geschenkt. Die Infiltrationsleistung von 80 l/m<sup>2</sup> ist natürlich ein sehr hoher Wert, der vermutlich nur in vollkommen gesunden und

ungestörten Wäldern bei idealen Bedingungen erreicht werden kann, dennoch eignet er sich für eine vorsichtige Kalkulation dieser wichtigen ÖSL, für die es in diesem Maße keine technische noch natürliche Alternative gibt.

Es lassen sich nicht alle Leistungen des Waldes in Wert setzen, dennoch können sie das Leben und Wohlbefinden der Menschen stark beeinflussen. So können Gesundheitsleistung und die Abkühlung der Städte zwar mit keinem monetären Wert versehen werden, aber die Lebensqualität und die Zufriedenheit deutlich steigern. Der ideelle und kulturelle Wert des Waldes ist nicht zu vernachlässigen, dient er doch als Ort der Inspiration und der Begegnung. Als Lernort prägt der Wald vom (Wald-)Kindergarten an die Entwicklung der Menschen und bietet die Örtlichkeit, sich künstlerisch und sportlich zu betätigen.

Die berechneten Ökosystemleistungen sind eine Momentaufnahme der Waldfläche Menden die sich größtenteils auf die Forsteinrichtung aus dem Jahr 2017 beziehen, es ist davon auszugehen, dass sich einige Werte mit dem aktualisierten Forsteinrichtungswerk ändern werden. Eine Weiterentwicklung solcher Studien zur Bewertung der Ökosystemleistungen auch im Hinblick auf den Klimawandel bleibt sinnvoll, um die Verschiebung der Gewichtung einzelner ÖSL zu dokumentieren. Weiterhin sollten die Konkurrenz und Synergien der Ökosystemleistungen untereinander weiter untersucht werden. Im Zuge dieser Studie kam die Frage auf, wie Privatwaldbesitzende im Wissen um die ÖSL, die ihre Wälder in unmittelbarer Siedlungsnähe erbringen, in Zukunft damit umgehen und ob es zu Forderungen ihrerseits kommen kann.

Zum Abschluss soll gesagt werden, dass diese, wie auch die vorhergegangenen Studien als Diskussionsgrundlage dienen soll, um die wichtigen Leistungen des Ökosystems Wald weiter zu erforschen. Der Bevölkerung soll mit dieser Studie ein Bewusstsein für die Leistungen des Waldes vermittelt werden, die mithilfe einer professionellen Betreuung durch Forstpersonal auch in Zeiten des Klimawandels geleistet werden können.

## **6. Zusammenfassung**

Der Wald dient längst nicht mehr nur der Versorgung mit Holz, stattdessen ist er heute ein Ort der Begegnung und des Sportes. Die Ökosystemleistungen des Waldes (Basis-, Versorgungs-, Regulierungs- und kulturelle Leistungen) nach dem MEA (2005) und der TEEB Deutschland Studie 2016 sind in der Lage, das menschliche Wohlbefinden und die Lebensqualität zu verbessern. So helfen sie beispielsweise als CO<sub>2</sub>-Senke im Kampf gegen den Klimawandel oder schützen uns als Grünstreifen vor Verkehrslärm. In dieser Arbeit wird auf Basis von Literaturstudien eine Inwertsetzung der Ökosystemleistungen für die Waldflächen der Gemeinde Menden im Sauerland durchgeführt, mit dem Ziel, deren Bedeutung der Bevölkerung und der Öffentlichen Hand näher zu bringen. An den

Ergebnissen ist auffällig, dass die Holznutzung, welche als einzige bisher honoriert wird, nur einen sehr geringen Anteil am Gesamtwert der ÖSL beträgt, aber dennoch hauptsächlich die Bereitstellung anderer ÖSL mitfinanziert. Zusätzlich können naturnahe forstwirtschaftliche Maßnahmen zur Holzproduktion sämtliche andere ÖSL positiv beeinflussen. Die Erholungsleistung trägt mit 50,64% den größten Beitrag zur Gesamtbewertung bei und zeigt die Wichtigkeit des Waldes als Begegnungs- und Erholungsort auf. Die Retentionsleistung mit 35,51% trägt den zweitgrößten Anteil bei, und zeigt damit die Relevanz von Wäldern im Hochwasserschutz. Der Arten- und Biodiversitätsschutz mit 7,89% zeigt den Stellenwert, den dieser in Deutschland einnimmt. Sauerstoffproduktion (2,64%) und Staubfilterleistung (1,03%) tragen zur Gesundheitsleistung des Waldes bei. Diese kann zwar nicht berechnet werden, wird aber wie andere, die auch nicht berechnet werden können, verbal beschrieben. Die positiven Wirkungen der ÖSL wirken sich auch auf den Siedlungswert (0,54%) von Immobilien in Waldnähe aus und werden in die Berechnung mit einbezogen. Insgesamt ergibt sich ein Gesamtwert der ÖSL des Stadtwaldes Menden von 14.055.136,97 €/a, mit einem durchschnittlichen Hektarwert von 27.061,14 €/ha/a).

## 7. Literaturverzeichnis

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.

Bade, T.; Tonneijck, F.; Van Middendorp, B. (2008): De kroon op het werk - Werken an het juiste klimaat voor mensen en bomen. Arnheim: Triple E.

BAFU; WSL (2013): Die Schweizer Bevölkerung und ihr Wald - Berichte zur zweiten Bevölkerungsumfrage. Waldmonitoring soziokulturell. BBL, Vertrieb Bundespublikation. Bern. Online verfügbar unter [https://www.infothek-biomasse.ch/images//248\\_2013\\_BAFU\\_Die\\_Schweizer\\_Bevoelkerung\\_und\\_ihr\\_Wald.pdf](https://www.infothek-biomasse.ch/images//248_2013_BAFU_Die_Schweizer_Bevoelkerung_und_ihr_Wald.pdf), zuletzt geprüft am 09.01.2022.

Basse, Dirk (12.03.21): Stadtwald Menden-Hemer. Hg. v. Stadt Menden, zuletzt geprüft am 04.01.2022.

Basse, Dirk (1997): Beschreibung und Bewertung des NSG "Rothenberg" im Stadtwald Menden und Entwurf eines Pflege- und Entwicklungsplans. Fachhochschule Hildesheim/ Holzminden, Göttingen. Fachbereich Forstwirtschaft Göttingen.

Baumeister, Autor Peter (2021): Spezifisches Gewicht von Holz bestimmen. In: *Handwerker Ratgeber*, 12.12.2021. Online verfügbar unter <https://handwerkerratgeber.info/spezifisches-gewicht-von-holz-bestimmen/#>, zuletzt geprüft am 19.12.2021.

Baur, B. (2003): Freizeitaktivitäten im Baselbieter Wald. Ökologische Auswirkungen und ökonomische Folgen: Liestal, Verl. des Kantons Basel-Landschaft.

- Bayrische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hg.) (2021): Schutz vor Naturgefahren. Bergwald schützt vor Erosionen. Online verfügbar unter <https://www.stmelf.bayern.de/wald/waldfunktionen/schutzwald/155859/index.php>, zuletzt aktualisiert am 06.01.2022, zuletzt geprüft am 06.01.2022.
- Bergen, V.; Löwenstein, W.; Pfister, G. (1995): Studien zur monetären Bewertung von externen Effekten der Forst- und Holzwirtschaft. 2., überarb. und erw. Aufl. Frankfurt am Main: Sauerländer (Schriften zur Forstökonomie, 2).
- Bergen, V.; Pfister, G. (1992): Die monetären Bewertungen von Umwelteinwirkungen einer Aufforstung. Unter Mitarbeit von V. Bergen, W. Löwenstein und G. Pfister. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Sauerländer (Schriften zur Forstökonomie: Studien zur monetären Bewertung von externen Effekten der Forst- und Holzwirtschaft).
- Bernasconi, A.; Schroff, U.; Zahnd, C. (2003): Erholung und Walddynamik. Belastung und Belastbarkeit der Erholungswälder un der Region Bern. Bern.
- Bishop, Kevin (1992): Assessing the benefits of community forests: an evaluation of the recreational use benefits of two urban fringe Woodlands. In: *Journal of Environmental Planning and Management* 35 (1), S. 63–76. DOI: 10.1080/09640569208711908.
- Blattert, Clemens; Bürgi, Anton; Lemm, Renato (2012): Berechnung von Mehraufwand und Minderertrag infolge des Trinkwasserschutzes im Wald. In: *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 163 (11), S. 437–444. DOI: 10.3188/szf.2012.0437.
- Borjans, Rita (1983): Immobilienpreise als Indikatoren der Umweltbelastungen durch den städtischen Kraftverkehr: Düsseldorf : Fischer (Buchreihe des Instituts für Verkehrswissenschaft an der Universität zu Köln).
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (Hg.) (2005): 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](https://www.kora.ch/malme/05_library/5_1_publications/N_and_O/Ott_&_Baur_2005_Der_monetaere_Erholungswert_des_Waldes.pdf), zuletzt geprüft am 09.01.2022.
- Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) (Hg.) (2018): Bericht zur Markt- und Versorgungslage. Fleisch 2018, zuletzt geprüft am 06.01.2022.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hg.) (2017): Waldbericht der Bundesregierung 2017, zuletzt geprüft am 04.01.2022.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hg.) (2019): Unser Wald. Natur aus Försterhand, zuletzt geprüft am 04.01.2022.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hg.) (2021a): Agrarministerkonferenz 29. September bis 1. Oktober 2021 in Dresden. TOP: 30: Honorierung der Klimaschutzleistungen des Waldes.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) (Hg.) (2021b): Nachhaltigkeitsprämie Wald: Hintergrund. Online verfügbar unter <https://www.bundeswaldpraemie.de/hintergrund>, zuletzt aktualisiert am 07.01.2022, zuletzt geprüft am 07.01.2022.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2021): Wie hoch fällt der CO2-Preis aus? - BMUV-FAQ. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Online verfügbar unter <https://www.bmu.de/faq/wie-hoch-faellt-der-co2-preis-aus>, zuletzt aktualisiert am 30.12.2021, zuletzt geprüft am 30.12.2021.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (Hg.) (2015): Indikatorenbericht 2014 zur Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt, zuletzt geprüft am 04.01.2022.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2017): Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Emissionen 1995 bis 2015 - weltweit und in Deutschland (in Millionen Tonnen). BMWI. Online verfügbar unter <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Infografiken/Industrie/industrie-umwelt-klimaschutz-02.html>, zuletzt aktualisiert am 30.12.2021, zuletzt geprüft am 30.12.2021.

Bürgi, Anton; Spjevak, Sandra (2009): Grundwasserschutz im Wald kostet! Hg. v. Eidg. Forschungsanstalt WSL. Eidg. Forschungsanstalt WSL. Online verfügbar unter <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/waldboden/grundwasserschutz-kostet>, zuletzt aktualisiert am 28.12.2021, zuletzt geprüft am 28.12.2021.

Burschel, Peter; Weber, Michael (2001): Wald - Forstwirtschaft - Holzindustrie Zentrale Größen der Klimapolitik. In: *Forstarchiv* 2001 (72), zuletzt geprüft am 30.12.2021.

Claßen, Thomas; Bunz, Maxie (2018): Einfluss von Naturräumen auf die Gesundheit – Evidenzlage und Konsequenzen für Wissenschaft und Praxis. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 61 (6), S. 720–728. DOI: 10.1007/s00103-018-2744-9.

Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union: Richtlinie 2002/49/EG Des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. EU-Umgebungslärmrichtlinie. In: *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft*, zuletzt geprüft am 03.01.2022.

Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union (12.12.2006): Richtlinie 2006/118/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Dezember 2006 zum Schutz des Grundwassers vor Verschmutzung und Verschlechterung. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex:32006L0118>, zuletzt geprüft am 28.12.2021.

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, Sylvia; Weimar, Holger (2014): Der Kohlenstoffgehalt in Holz- und Papierprodukten – Herleitung und Umrechnungsfaktoren. In: *Thünen Working Paper* (38), zuletzt geprüft am 31.12.2021.

Dobler, Günter; Suda, Michael; Seidl, Gerhard (2016): Wortwechsel im Blätterwald. Erzählstrukturen für eine wirksame Öffentlichkeitsarbeit. Norderstedt: BoD - Books on Demand.

DWD (2021): Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Warnungen aktuell - Warnkriterien. Online verfügbar unter [https://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen\\_aktuell/kriterien/warnkriterien.html](https://www.dwd.de/DE/wetter/warnungen_aktuell/kriterien/warnkriterien.html), zuletzt aktualisiert am 29.12.2021, zuletzt geprüft am 29.12.2021.

Elsasser, P. (1996): Der Erholungswert des Waldes. Monetäre Bewertung der Erholungsleistung ausgewählter Wälder in Deutschland. Zugl.: Hamburg Uni., Diss., 1995. Frankfurt am Main: Sauerländer.

Englisch, Michael (2016): Wald und Wasser – ein (fast) ideales Paar. Hg. v. Bundesforschungszentrum für Wald. Institut für Waldökologie und Boden. Wien (BFW-Praxisinformation, 40). Online verfügbar unter <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/waldboden/wald-und-wasser>, zuletzt aktualisiert am 28.12.2021, zuletzt geprüft am 28.12.2021.

Europäische Kommission (2019): Nitrat im Grundwasser: Kommission mahnt Deutschland zur Umsetzung des EuGH-Urteils. Hg. v. European Commission. European Commission. Online verfügbar unter [https://germany.representation.ec.europa.eu/news/nitrat-im-grundwasser-kommission-mahnt-deutschland-zur-umsetzung-des-eugh-urteils-2019-07-25\\_de](https://germany.representation.ec.europa.eu/news/nitrat-im-grundwasser-kommission-mahnt-deutschland-zur-umsetzung-des-eugh-urteils-2019-07-25_de), zuletzt aktualisiert am 25.07.2019, zuletzt geprüft am 29.12.2021.

Europäische Umweltagentur (2020): Luftverschmutzung. Hg. v. Europäische Umweltagentur. Europäische Union. Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/de/themes/air/intro>, zuletzt geprüft am 02.01.2022.

European Environment Agency (EEA) (2014): Noise in Europe 2014. European Environment Agency (EEA) (EEA Report, 10/2014). Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/publications/noise-in-europe-2014>, zuletzt geprüft am 03.01.2022.

Fischer, M.; Willert, M. (2013): Identifizierung von Waldfunktionen bzw. -leistungen als Teil der grünen Infrastruktur und ihre ökonomische Bewertung - Fallbeispiel: Wald im Stadtgebiet Remscheid. Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Lemgo.

ForstBW (Hg.) (2018): Natura 2000 im Wlad von Baden-Württemberg. Handlungsempfehlung für Waldbesitzende. Stuttgart, zuletzt geprüft am 04.01.2022.

Gasser, Gerhard (1997): Aktivitäten der städtischen Forstverwaltung Liestal (BL) in der Wahrnehmung von Waldbesucherinnen und Waldbesucher.

Gebhard, Hugo (2007): Verkehrssicherungspflicht für Waldbesitzer. In: *Natur und Recht* 29 (11). DOI: 10.1007/s10357-007-1379-7.

GEOfy (2020): Menden (Sauerland) im Märkischer Kreis: Haushalte. Online verfügbar unter <https://geofy.de/de/menden-sauerland/haushalte/3012>, zuletzt geprüft am 29.11.2021.

Getzner, M. (1998): Onsite Vs. Distant Questioning. Some Empirical Evidence from Valuing Recreation Functions of City-near Forests. Universität Klagenfurt, Klagenfurt.

Hampicke, Ulrich; Schulz, Werner (1991): Kosten und Wertschätzung des Arten- und Biotopschutzes. Forschungsbericht 10103110/04. Berlin.

Holm-Müller, K. (1991): Die Nachfrage nach Umweltqualität in der Bundesrepublik Deutschland. Hg. v. Umwelt Bundesamt. Institut für Stadtforschung und Strukturpolitik (IfS). Forschungsbericht/Umweltbundesamt UBA-FB 90-122.

Husqvarna Group (Hg.) (2013): Global Green Space Report 2013. 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](https://2020vision.com.au/media/1025/husqvarna_global_green_space_report_2013-1.pdf), zuletzt geprüft am 09.01.2022.

Janhäll, Sara (2015): Review on urban vegetation and particle air pollution – Deposition and dispersion. In: *Atmospheric Environment* 105, S. 130–137. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2015.01.052.

Johann Heinrich von Thünen-Institut (08.09.2014): Thünen-Institut: Deutsche Wälder speichern mehr Kohlenstoff als vor 20 Jahren. Welling, Michael. Online verfügbar unter <https://www.thuenen.de/de/infothek/presse/pressearchiv/pressemitteilungen-2014/deutsche-waelder-speichern-mehr-kohlenstoff-als-vor-20-jahren/>, zuletzt geprüft am 30.12.2021.

Jordi, Beat; Biel (2005): Grundwasserschutz im Wald. Hg. v. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern, zuletzt geprüft am 02.01.2022.

- Jung, M. (1996): Präferenzen und Zahlungsbereitschaft für eine verbesserte Umweltqualität im Agrarbereich. Zugl.: Hohenheim, Univ., Diss., 1996. Frankfurt am Main: Lang.
- Junghänel, T.; Bissolli, P.; Daßler, J.; Fleckenstein, R.; Imbery, F.; Janssen, W. et al. (2021): Hydroklimatologische Einordnung der Stark- und Dauerniederschläge in Teilen Deutschlands im Zusammenhang mit dem Tiefdruckgebiet "Bernd" vom 12. bis 19. Juli 2021. Hg. v. Deutscher Wetterdienst. Deutscher Wetterdienst, zuletzt geprüft am 29.12.2021.
- Kallweit, Dagmar; Wintermeyer, Dirk (2013): Berechnung der gesundheitlichen Belastung der Bevölkerung in Deutschland durch Feinstaub (PM10). Hg. v. Bundesamt für Strahlenschutz, Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Robert Koch-Institut (RKI) und Umweltbundesamt (UBA) (UMID, 04), zuletzt geprüft am 02.01.2022.
- Kielon, Kristin (2020): Die Top 5 der CO2-Verursacher Deutschlands | MDR.DE. Hg. v. MDR Wissen. Online verfügbar unter <https://www.mdr.de/wissen/deutschland-top-fuenf-klima-emissionen-100.html>, zuletzt aktualisiert am 30.12.2021, zuletzt geprüft am 30.12.2021.
- Kleiber, O. (2006): Monetäre Bewertung von Erholungsnutzen und Nutzerkonflikten in stadtnahen Wäldern. Konzeption und empirische Prüfung am Beispiel des Allschwiler Waldes. Marburg: Tectum Verl.
- Klein, C. (2002): Die monetäre Bewertung der Walderholung mittels der Contigent-Valuation-Method - Eine kritische Analyse theoretischer und anwendungsbezogener Bewertungsaspekte. Arbeitsbericht. Albert-Ludwig-Universität. Freiburg. Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/58298/1/356800741.pdf>, zuletzt geprüft am 09.01.2022.
- Kleinhüchelkotten, Silke; Wipperman, Carten (2006): Anschlussfaehigkeit des Leitbilds Nachhaltige Waldwirtschaft in der Bevoelkerung, zuletzt geprüft am 27.12.2021.
- Kübeck, C.; Bergmann, A.; Herzberg, A. (2013): Modellierung und Prognose der durch den Klimawandel verursachten Änderungen der Wasserquantität und -qualität. Hg. v. dynaklim. Umwelt Bundesamt (45), zuletzt geprüft am 28.12.2021.
- Küchli, Christian (2005): Der Waldboden – ein optimaler Filter - Waldwissen.net. Hg. v. Waldwissen.net. Yumpu.com. Online verfügbar unter <https://www.yumpu.com/de/document/read/5161161/der-waldboden-ein-optimaler-filter-waldwissen.net>, zuletzt aktualisiert am 28.12.2021, zuletzt geprüft am 28.12.2021.
- Küchli, Christian; Meylan, Benjamin (2002): Wälder liefern das beste Trinkwasser. Eine wertvolle Waldfunktion. In: *Wald und Holz* (10), S. 51–54, zuletzt geprüft am 28.12.2021.
- Küpker, M.; Küppers, J.-G.; Elsasser, P.; Thore, C. (2005): Sozioökonomische Bewertung von Maßnahmen zur Erhaltung und Förderung der biologischen Vielfalt der Wälder. Universität Hamburg. Hamburg.
- Lenz, Dreamartist Webmedia (Hg.) (2022): Spezifisches Gewicht von Holz / Brennholz / Dichte Holz. Online verfügbar unter <http://www.kaminholz-wissen.de/gewicht-von-holz-dichte.php>, zuletzt aktualisiert am 09.01.2022, zuletzt geprüft am 09.01.2022.
- Leonhardt, A. (2017): Betriebswerk für den Stadtwald Menden. Hg. v. Büro für Wald und Umweltplanung A. Leonhardt.
- Lohmann, Ulf (2012): Holz-Handbuch. 7., völlig überarb. Aufl. Leinfelden-Echterdingen: DRW-Verl.

- Löwenstein, W. (1994): Die Reisekostenmethode und die bedingte Bewertungsmethode als Instrument zur monetären Bewertung der Erholungsfunktion des Waldes ein ökonomischer und ökonomischer Vergleich. Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 1994 Frankfurt am Main: Sauerländer.
- Märkischer Kreis (Hg.) (2021): Statistiken - Märkischer Kreis. Märkischer Kreis. Online verfügbar unter <https://www.maerkischer-kreis.de/der-kreis/portrait/statistik.php>, zuletzt aktualisiert am 13.11.2021, zuletzt geprüft am 13.11.2021.
- Menden/Sauerland - Stadt und Landschaft (2013): Mendener Konglomerat – Gesteinsspezialität aus uraltem Flussgeröll. Online verfügbar unter <https://mendenraum.wordpress.com/2013/02/11/mendener-konglomerat-gesteinsspezialitaet-aus-uraltem-flussgeroell/>, zuletzt aktualisiert am 12.02.2013, zuletzt geprüft am 18.11.2021.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (2005): Ecosystems and Human Well-being. Synthesis. Washington DC: Island Press, zuletzt geprüft am 08.01.2022.
- Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden- Württemberg (2018): Lärmfibel. Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden- Württemberg. Online verfügbar unter <https://www.staedtebauliche-laermfibel.de/?p=71&p2=7.1.6>, zuletzt aktualisiert am 03.01.2022, zuletzt geprüft am 03.01.2022.
- Möhring, Bernhard; Rüping, Ursula (2006): Bewertungskonzept für forstliche Nutzungsbeschränkungen. Frankfurt am Main: J.D. Sauerländer (Schriften zur Forstökonomie, Band 32).
- Moog, M.; Püttmann, F. (1986): Überlegungen zur Bewertung von Minderungen der Bodenschutzleistung des Waldes mit einem praktischen Beispiel. In: *Der Forst- und Holzwirt* (6), S. 158–160.
- Müller, Christoph; Iber, Christian; Nied, Manuela; Hoy, Andreas; Junghänel, Thomas (2018): Starkregen und Klimawandel - Kooperation KLIWA. Beiträge zum Seminar am 6. Juni 2018 an der Technischen Universität München. In: *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* Heft 40 (2018), zuletzt geprüft am 29.12.2021.
- Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (Laves) (Hg.) (2021): Wildfleisch frei von Blei und Keimen? | Nds. Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit. Online verfügbar unter [https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/lebensmittel/lebensmittelgruppen/fleisch\\_fleisch\\_erzeugnisse/wild-73576.html](https://www.laves.niedersachsen.de/startseite/lebensmittel/lebensmittelgruppen/fleisch_fleisch_erzeugnisse/wild-73576.html), zuletzt aktualisiert am 06.01.2022, zuletzt geprüft am 06.01.2022.
- NRW Opendata (2018): Umgebungslärmkartierung Stufe 2 (2012 ) und Runde 3 (2017). Online verfügbar unter <http://www.gis-rest.nrw.de/atomFeed/rest/atom/5d4f52c0-58be-4a41-a17d-0547ed06dd5e.html>, zuletzt aktualisiert am 03.01.2022, zuletzt geprüft am 03.01.2022.
- Olschewski, Roland (1997): Nutzen-Kosten-Analyse des Wasserschutzes durch eine Aufforstung. Zugl.: Göttingen, Univ., Diss., 1997. Frankfurt am Main: Sauerländer (Schriften zur Forstökonomie, 15).
- Paul, Carla-Friederike (2020): Inwertsetzung der Ökosystemleistungen von Wäldern - am Beispiel des Waldgebietes Haard. HAWK, Göttingen. Fakultät für Ressourcenmanagement, zuletzt geprüft am 27.12.2021.
- Pilz, Sarah (2021): Inwertsetzung der Ökosystemleistungen von Wäldern am Beispiel der Stadt Wuppertal. HAWK, Göttingen. Fakultät Ressourcenmanagement, zuletzt geprüft am 27.12.2021.

Pretzsch, Hans; Biber, Peter; Schütze, Gerhard; Uhl, Enno; Rötzer, Thomas (2014): Forest stand growth dynamics in Central Europe have accelerated since 1870. In: *Nature communications* 5, S. 4967. DOI: 10.1038/ncomms5967.

Puhlmann, H.; Wilpert, K. von; Sucker, C. (2013): Können Wälder sicheren Hochwasserschutz bieten? In: *AFZ-Der Wald* 13. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/publication/257940871\\_Können\\_Walder\\_sicheren\\_Hochwasserschutz\\_bieten](https://www.researchgate.net/publication/257940871_Können_Walder_sicheren_Hochwasserschutz_bieten).

Rast, S. (2021): Holzvolumen und -massen umrechnen • forst-rast.de. Online verfügbar unter <http://www.forst-rast.de/pflrechner06.html>, zuletzt aktualisiert am 03.10.2021, zuletzt geprüft am 09.01.2022.

Rat der Europäischen Union (03.11.1998): 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/ALL/?uri=CELEX%3A31998L0083>, zuletzt geprüft am 28.12.2021.

Rickli, Christian; Graf, Frank; Gerber, Werner; Frei, Martin; Böll, Albert (2004): Der Wald und seine Bedeutung bei Naturgefahren geologischen Ursprungs. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf (Forum für Wissen 2004). Online verfügbar unter [https://www.academia.edu/23069379/Der\\_Wald\\_und\\_seine\\_Bedeutung\\_bei\\_Naturgefahren\\_geologischen\\_Ursprungs](https://www.academia.edu/23069379/Der_Wald_und_seine_Bedeutung_bei_Naturgefahren_geologischen_Ursprungs).

Rink, D.; Arndt, T. (2011): Urbane Wälder. Ökologische Stadterneuerung durch Anlage urbaner Waldflächen auf innerstädtischen Flächen im Nutzungswandel - Ein Beitrag zur Stadtentwicklung in Leipzig. Leipzig (UFZ - Bericht). Online verfügbar unter [https://www.ufz.de/export/data/2/100292\\_ufz\\_bericht\\_03\\_2011.pdf](https://www.ufz.de/export/data/2/100292_ufz_bericht_03_2011.pdf), zuletzt geprüft am 09.01.2022.

Rupsch, Heiner (2016): Erhöhung des Grundwasserreinertrags durch gezielten Waldumbau. Unter Mitarbeit von Dr. Steffen Rust. Hg. v. Trinkwasserwald e.V. Trinkwasserwald e.V., zuletzt geprüft am 28.12.2021.

Rust, S. Professor der HAWK Hochschule Hildesheim/Holzminde/Göttingen (2019): Grundwasserabfluss. Fakultät für Ressourcenmanagement, 30.09.2019. Schriftliche Mitteilung.

Salb, Caterina; Gül, Sarah; Cuntz, Charlotte; Monschauer, Yannick; Weishäupl, Josef (2018): Klimaschutz in Zahlen (2018) – Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), zuletzt geprüft am 30.12.2021.

Säumel, Ina; Kotsyuk, Iryna; Hölscher, Marie; Lenkerei, Claudia; Weber, Frauke; Kowarik, Ingo (2012): How healthy is urban horticulture in high traffic areas? Trace metal concentrations in vegetable crops from plantings within inner city neighbourhoods in Berlin, Germany. In: *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)* 165, S. 124–132. DOI: 10.1016/j.envpol.2012.02.019.

Schelbert-Syfrig, H. (1988): Wertvolle Umwelt - ein wirtschaftswissenschaftlicher Beitrag zur Umwelteinschätzung in Stadt und Agglomeration. Zürich.

Schmidt, Olaf (2015): Naturnahe Forstwirtschaft fördert Artenvielfalt. Pflege, Durchforstung und Verjüngung bringen Strukturen in die Wälder, Totholz- und Biotopschutz schaffen wertvolle Habitate. Hg. v. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF aktuell, 104), zuletzt geprüft am 05.01.2022.

- Schober, Reinhard (1995): Ertragstabellen wichtiger Baumarten bei verschiedener Durchforstung. 4. Aufl. Frankfurt am Main: Sauerländer.
- Schuh, Angela; Immich, Gisela (2013): Kur- und Heilwald in Mecklenburg-Vorpommern. Evaluation, zusammenfassender Bericht und wissenschaftliche Expertise. Hg. v. Institut für Med. Informationsverarbeitung, Biometrie und Epidemiologie. Ludwig-Maximilians-Universität München. München, zuletzt geprüft am 06.01.2022.
- Schüssele, J. (1995): Bewertung der Erholungsfunktion des Waldes um den "Kneip- und Luftkurort Ziegenhagen". Diplomarbeit. Fachhochschule Hildesheim/ Holzminde/Göttingen, Göttingen.
- Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (SDW) (2021): Waldleistungen. Hg. v. Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (SDW). Schutzgemeinschaft Deutscher Wald (SDW). Online verfügbar unter <https://www.sdw.de/ueber-den-wald/waldwissen/waldleistungen/#c3554>, zuletzt aktualisiert am 30.12.2021, zuletzt geprüft am 30.12.2021.
- Schwalto, J. (1994): Neuplanung und Bewertung der Erholungsinfrastruktur am Beispiel des Stadtwaldes Mühlheim. Diplomarbeit. Georg-August-Universität, Göttingen.
- Schwepe-Kraft, B.; Habeck, K.; Schmitz, T. (1989): Ökonomische Bewertung von Eingriffen in Natur und Landschaft. Am Beispiel Industriegebiet Schichauweg, Berlin (West). Techn. Univ. Univ.-Bibliothek Abt. Publ., Berlin.
- Seintsch, Björn; Rosenkranz, Lydia; Englert, Hermann; Dieter, Matthias; Wippel, Bernd; Becker, Gero et al. (2012): FFH-Impact: Teil 2: Auswirkungen von FFH-Maßnahmenplanungen auf Forstbetriebe, zuletzt geprüft am 04.01.2022.
- sieberth, Lukas (2014): Inwertsetzung von Ökosystemleistungen. Eine objektive Bewertung auf lokaler Ebene Remscheid. Waldgenossenschaft Remscheid eG, zuletzt geprüft am 27.12.2021.
- Sievänen, T.; Pouta, E.; Ovaskainen, V. (1992): Problems of measuring recreation value given everyman's rights. In: *Scandinavian Forest Economics* (33), S. 231–243.
- Spektrum.de (2021): Photosynthese. Hg. v. Spektrum.de und Online Lexikon. Online verfügbar unter <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/photosynthese/51369>, zuletzt aktualisiert am 04.09.2018, zuletzt geprüft am 30.12.2021.
- Stadt Menden (2021a): Schadensbilanz nach Jahrhunderhochwasser. Hg. v. Stadt Menden. Online verfügbar unter [https://www.menden.de/aktuelles/detailseite/?tx\\_news\\_pi1%5Bnews%5D=2411&tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=2a250b6ab67055cb446785520aa3101b](https://www.menden.de/aktuelles/detailseite/?tx_news_pi1%5Bnews%5D=2411&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=2a250b6ab67055cb446785520aa3101b), zuletzt aktualisiert am 29.12.2021, zuletzt geprüft am 29.12.2021.
- Stadt Menden (2021b): Rahmendaten Menden, 03.11.2021. Gespräch an Niklas Schrödel.
- Stadt Menden (Sauerland) (04.11.2021): Umgestaltungsmaßnahme an den Oeseteichen. Ökologie, Hochwasserschutz, Naherholung. Menden. Johannes Ehrlich, zuletzt geprüft am 29.12.2021.
- Takano, T.; Nakamura, K.; Watanabe, M. (2002): Urban residential environments and senior citizens' longevity in megacity areas: the importance of walkable green spaces. In: *Journal of Epidemiology and Community Health* 56 (12), S. 913–918. DOI: 10.1136/jech.56.12.913.
- TEEB Deutschland (Hg.) (2016): Ökosystemleistungen in der Stadt. Gesundheit schützen und Lebensqualität erhöhen. Unter Mitarbeit von Ingo Kowarik, Robert Bartz und Miriam Brenck. Naturkapital Deutschland - TEEB DE. Leipzig, Berlin: Naturkapital Deutschland - TEEB DE, zuletzt geprüft am 27.12.2021.

- Theakston, Frank (Hg.) (2011): Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Weltgesundheitsorganisation. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe, zuletzt geprüft am 03.01.2022.
- Thünen-Institut für Waldökosysteme (2019): Wald in Deutschland - Wald in Zahlen. Ergebnisse der Kohlenstoffinventur 2017. Hg. v. Johann Heinrich von Thünen-Institut, zuletzt geprüft am 30.12.2021.
- Uflacker, J. (1995): Bewertung der Erholungsfunktion verschiedener Waldbesitzarten im Kaufunger Wald. Diplomarbeit. Fachhochschule Hildesheim/ Holzminden/Göttingen, Göttingen.
- Umwelt Bundesamt (2019): Trinkwasser. Hg. v. Umwelt Bundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser>, zuletzt aktualisiert am 28.12.2021, zuletzt geprüft am 28.12.2021.
- Umweltbundesamt (2020): FAQs zu Nitrat im Grund- und Trinkwasser. Hg. v. Umweltbundesamt. Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/grundwasser/nutzung-belastungen/faqs-zu-nitrat-im-grund-trinkwasser#wie-ist-die-situation-in-deutschland>, zuletzt aktualisiert am 28.12.2021, zuletzt geprüft am 28.12.2021.
- Van Alvensleben, R.; Schleyerbach, K. (1994): Präferenzen und Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung für Naturschutz- und Landschaftspflegeleistungen der Landwirtschaft (Berichte über Landwirtschaft, 72).
- Wald und Holz NRW (Hg.) (2019): Waldfunktionen Nordrhein-Westfalen. Grundsätze und Verfahren zur Ermittlung der Waldfunktionen, zuletzt geprüft am 28.12.2021.
- Weber, Frauke; Kowarik, Ingo; Säumel, Ina (2014): Herbaceous plants as filters: immobilization of particulates along urban street corridors. In: *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)* 186, S. 234–240. DOI: 10.1016/j.envpol.2013.12.011.
- Weltgesundheitsorganisation (WHO) (2018): Neue Leitlinien der WHO für Lärmbelastung veröffentlicht. Unter Mitarbeit von James Cresswick. Weltgesundheitsorganisation. 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>, zuletzt aktualisiert am 29.11.2021, zuletzt geprüft am 03.01.2022.
- Westdeutscher Rundfunk (WDR) (2021): Was die Flut uns nahm: Gedenken an die Todesopfer der Hochwasserkatastrophe - wdr.de. In: *Westdeutscher Rundfunk*, 25.08.2021. Online verfügbar unter <https://reportage.wdr.de/hochwasser-tote-flut-gedenken#unwetter-treffen-nrw-und-rheinland-pfalz>, zuletzt geprüft am 07.01.2022.
- Willis, K. G. (1991): THE RECREATIONAL VALUE OF THE FORESTRY COMMISSION ESTATE IN GREAT BRITAIN: A CLAWSON-KNETSCH TRAVEL COST ANALYSIS. In: *Scottish J Political Economy* 38 (1), S. 58–75. DOI: 10.1111/j.1467-9485.1991.tb00301.x.
- Willis, K. G.; Benson, J. (1989): Values of user benefits of forest recreation - Some fur - their site surveys. University of Newcastle upon Tyne. Edinburgh.
- Wippermann, C.; Wippermann, K. (2010): Mensch und Wald. Einstellungen der Deutschen zum Wald und zur nachhaltigen Waldwirtschaft. Bielefeld: wbv.
- Wissenberg, Martin (2019): Inwertsetzung der Ökosystemleistungen von Wäldern am Beispiel der Stadt Solingen. Projektarbeit. HAWK, Göttingen. Fakultät für Ressourcenmanagement, zuletzt geprüft am 27.12.2021.

Worreschk, Bernd (2000): Wirksamkeit von Hochwasservorsorge- und Hochwasserschutzmaßnahmen. Hg. v. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA). Schwerin, zuletzt geprüft am 29.12.2021.

Zwintz, R. (Hg.) (1985): Zur Monetären Bewertung volkswirtschaftlicher Kosten durch die Grundwasserverschmutzung. Unter Mitarbeit von R. Zwintz. Kosten der Umweltverschmutzung. Berlin, 12. und 13. September 1985. Symposium im Bundesministerium des Innern.

## Anhang

### Anhangsverzeichnis

|   |      |
|---|------|
| Tabelle I: Verfahrenskosten für die Nitratfilterung aus Trinkwasser                   | II   |
| Tabelle II: Berechnung der Besuchszahlen nach Husqvarna Group (2013)                  | II   |
| Tabelle III: Berechnung a) der Besuchszahl nach BAFU und WSL (2013)                   | II   |
| Tabelle III.1: Berechnung b) der Besuchszahl nach BAFU und WSL (2013)                 | III  |
| 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 Besuchszahl nach BUWAL (2015)                              | IV   |
| Tabelle VII: Berechnung der Besuchszahl nach Gasser (1997)                            | IV   |
| Tabelle VIII: Berechnung der Besuchszahl nach Asche (2015)                            | V    |
| Tabelle IX: „Jährliche Abgabe“: Erholungswert in €/Besucher/Jahr                      | V    |
| Tabelle X: „Tägliche Abgabe“: Erholungswert in €/Besucher/Tag                         | V    |
| Tabelle XI: Zahlungsbereitschaft für Artenschutz und Biodiversität                    | VI   |
| Tabelle XII: Berechnung der CO <sub>2</sub> Senkleistung                              | VII  |
| <br>  |      |
| Abbildung I: Eigene Darstellung der Waldflächen mit lärmindernder Wirkung in QGIS     | VIII |
| Abbildung II: Eigene Darstellung der Wirkung des Waldes auf den Siedlungswert in QGIS | VIII |
| <br>  |      |
| Berechnung I: Berechnung des korrigierten Niederschlags & der Verdunstung             | IX   |
| Berechnung II: Bsp.-Rechnung der CO <sub>2</sub> -Senkleistung der Eiche              | IX   |

Tabelle I: Verfahrenskosten für die Nitratfiltration aus Trinkwasser, verändert nach Sieberth (2014)

| Verfahren                       | Kosten [€/m <sup>3</sup> ]   | Quelle          |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Elektrolytische Nitratreduktion | 0,08 €/m <sup>3</sup>        | Olschewski 1997 |
| Ionenaustauschverfahren         | 0,28 - 0,65 €/m <sup>3</sup> | Olschewski 1998 |
| Membranverfahren                | 0,28 - 0,62 €/m <sup>3</sup> | Olschewski 1999 |
| Biologische Verfahren           | 0,10 - 0,51 €/m <sup>3</sup> | Olschewski 2000 |
| verschiedene                    | 0,15 - 0,82 €/m <sup>3</sup> | Zwintz 1986     |

Tabelle II: Berechnung der Besuchszahl nach Husqvarna Group (2013)

| HUSQVARNA GROUP (2013)   | mehrmals pro Woche  | einmal pro Woche | einmal pro Monat | einmal oder weniger im letzten Quartal | nie     | weiß nicht |
|--------------------------|---------------------|------------------|------------------|--|---------|------------|
| Prozent der Deutschen    | 15,00%              | 19,00%           | 26,00%           | 33,00%                                 | 4,00%   | 4,00%      |
| Waldbesuche              | 7867,8              | 9965,88          | 13637,52         | 17309,16                               | 2098,08 | 2098,08    |
| pro Jahr                 | 1.227.376,80        | 518.225,76       | 163.650,24       | 69.236,64                              | 0,00    | 0,00       |
| Waldbesuche gesamt       | <b>1.978.489,44</b> |                  |                  |  |         |            |
| Personen ohne Waldbesuch | <b>4.196,16</b>     |                  |                  |  |         |            |
| Anzahl Waldbesucher      | <b>48.780,36</b>    |                  |                  |  |         |            |

Tabelle III: Berechnung a) der Besuchszahlen nach BAFU und WSL (2013)

| BAFU und WSL (2013) | Sommer    | Prozent (Sommer) | Besuche Sommer      | Winter    | Prozent (Winter) | Besuche Winter      |
|---------------------|-----------|------------------|---------------------|-----------|------------------|---------------------|
| fast täglich        | 6.294,24  | 12%              | 818.251,20          | 4.196,16  | 8%               | 545.500,80          |
| 1-2 pro Woche       | 22.029,84 | 42%              | 859.163,76          | 14.686,56 | 28%              | 572.775,84          |
| 1-2 pro Monat       | 14.686,56 | 28%              | 132.179,04          | 13.637,52 | 26%              | 122.737,68          |
| < 1-mal pro Monat   | 6.294,24  | 12%              | 18.882,72           | 11.014,92 | 21%              | 33.044,76           |
| nie                 | 3.147,12  | 6%               | -                   | 9.441,36  | 18%              | -                   |
|                     |           |                  | <b>1.828.476,72</b> |           |                  | <b>1.274.059,08</b> |

Tabelle III 1: Berechnung b) der Besuchszahl nach BAFU und WSL (2013)

| <b>BAFU &amp; WSL (2013)</b> | Besuche/Einheit     | Besuche pro Halbjahr |
|------------------------------|---------------------|----------------------|
| fast täglich                 | 5                   | 130                  |
| 1-2 pro Woche                | 1,5                 | 39                   |
| 1-2 pro Monat                | 1,5                 | 9                    |
| < 1 mal pro Monat            | 0,5                 | 3                    |
| nie                          | 0                   | 0                    |
| Waldbesuche gesamt           | <b>3.102.535,80</b> |                      |
| Personen ohne Waldbesuch     | <b>6.294,24</b>     |                      |
| Anzahl Waldbesucher          | <b>46.420,02</b>    |                      |

Tabelle IV: Berechnung der Besuchszahlen nach Rink und Arndt (2011)

| <b>RINK &amp; ARNDT (2011)</b> | regelmäßig [3x/Woche] | ab und zu [1x/Woche] | eher selten [1x/Monat] | fast nie [2x/Jahr] |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|--------------------|
| Prozent                        | 17,10%                | 48,70%               | 21,50%                 | 12,70%             |
| Anteil                         | 8.969,29              | 25.544,12            | 11.277,18              | 6.661,40           |
| <b>Besuche</b>                 | <b>1.399.209,55</b>   | <b>1.328.294,45</b>  | <b>135.326,16</b>      | <b>13.322,81</b>   |
| Waldbesuche gesamt             | <b>2.876.152,97</b>   |                      |                        |                    |

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

| <b>WIPPERMANN &amp; WIPPERMANN (2010)</b> | regelmäßig [3x/Woche] | Einmal pro Woche  | einmal alle 14 Tage | einmal pro Monat | Seltener         | Garnicht |
|---|-----------------------|-------------------|---------------------|------------------|------------------|----------|
| Prozent                                   | 10%                   | 13%               | 11%                 | 13%              | 37%              | 16%      |
| Anteil                                    | 5.245,20              | 6.818,76          | 5.769,72            | 6.818,76         | 19.407,24        | 8.392,32 |
| Besuche                                   | <b>818.251,20</b>     | <b>354.575,52</b> | <b>150.012,72</b>   | <b>81.825,12</b> | <b>38.814,48</b> | -        |
| Waldbesuche gesamt                        | <b>1.443.479,04</b>   |                   |                     |                  |                  |          |
| Personen ohne Waldbesuch                  | <b>8.392,32</b>       |                   |                     |                  |                  |          |
| Anzahl Waldbesucher                       | <b>44.059,68</b>      |                   |                     |                  |                  |          |

Tabelle VI: Berechnung der Besuchszahl nach BUWAL (2005)

| BUWAL (2005)      | Besuche/<br>Einheit | Besuche pro<br>Halbjahr |  |
|-------------------|---------------------|-------------------------|--|
| fast täglich      | 5                   | 130                     |  |
| 1-2 pro Woche     | 1,5                 | 39                      |  |
| 1-2 pro Monat     | 1,5                 | 9                       |  |
| < 1 mal pro Monat | 0,5                 | 3                       |  |
| nie               | 0                   | 0                       |  |

|                          | Anteil im<br>Sommer | Prozent<br>(Sommer) | Besuche<br>(Sommer) | Anteil im<br>Winter | Prozent<br>(Winter) | Besuche<br>(Winter) |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| fast täglich             | 7.343               | 14%                 | 954.626             | 4.721               | 9%                  | 613.688             |
| 1-2 pro<br>Woche         | 23.079              | 44%                 | 900.076             | 15.211              | 29%                 | 593.232             |
| 1-2 pro Monat            | 15.211              | 29%                 | 136.900             | 17.834              | 34%                 | 160.503             |
| < 1 mal pro<br>Monat     | 4.721               | 9%                  | 14.162              | 8.392               | 16%                 | 25.177              |
| nie                      | 2.098               | 4%                  | -                   | 6.294               | 12%                 | -                   |
|                          |                     |                     | <b>2.005.764</b>    |                     |                     | <b>1.392.601</b>    |
| Waldbesuche gesamt       |                     | <b>3.398.365</b>    |                     |                     |                     |                     |
| Personen ohne Waldbesuch |                     | <b>4.196</b>        |                     |                     |                     |                     |
| Anzahl Waldbesucher      |                     | <b>48.256</b>       |                     |                     |                     |                     |

Tabelle VII: Berechnung der Besuchszahlen nach Gasser (1997)

| Gasser<br>(1997)       | Sehr häufig<br>[3x/Woche] | Häufig<br>[1x/Woche] | Selten [1x/Monat] | Sehr selten [2x/Jahr] |
|------------------------|---------------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|
| Prozent                | 29%                       | 45%                  | 19%               | 7%                    |
| Anteil                 | 15.211                    | 23.603               | 9.966             | 3.672                 |
| Besuche                | <b>2.372.928</b>          | <b>1.227.377</b>     | <b>119.591</b>    | <b>7.343</b>          |
| Waldbesuch<br>e gesamt | <b>3.727.239</b>          |                      |                   |                       |

Tabelle VIII: Berechnung der Besuchszahl nach Asche (2015)

|  |                  |
|--|------------------|
| <b>Asche (2015)</b>  |                  |
| 50 % der Einwohner besuche in 40 Wochen/Jahr einmal pro Woche den Wald |                  |
| Besucher   | 26.226           |
| Besuche/Besucher/Jahr  | 40               |
| <b>Besuche</b>   | <b>1.049.040</b> |

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                    | 329,97                    |         | Bergen et al. (1995)     |
| 51,1                      | 51,1                      |         | Klein (2002)             |
| 40,97-59,77               | 50,37                     | CVM     | Bishop (1992)            |
| 352,17                    | 352,17                    | CVM     | Schelbert-Syfrig (1988)  |
| 307,1                     | 307,13                    | TCM     | Schelbert-Syfrig (1988)  |
| 327,6                     | 327,6                     |         | Schelbert-Syfrig (1988)  |
| <b>Mittelwert</b>         | <b>146,25</b>             |         |                          |

Tabelle X: „Tägliche Abgabe“: Erholungswert in €/Besucher/Tag, übernommen von Wissenberg (2019)

| Wertspanne [€/Besucher/a] | Wertansatz [€/Besucher/a] | Methode | Quelle                     |
|---------------------------|---------------------------|---------|----------------------------|
| 2,16-2,19                 | 2,18                      |         | Fischer und Willert (2013) |
| 0,73                      | 0,73                      | CVM/TCM | Getzner (1998)             |
| 0,99                      | 0,99                      | CVM     | Getzner (1998)             |
| 0,58                      | 0,58                      |         | Schüssele (1995)           |
| 2,04                      | 2,04                      |         | Schüssele (1995)           |
| 1,14                      | 1,14                      |         | Schüssele (1995)           |
| 1,72                      | 1,72                      |         | Schüssele (1995)           |
| 1,54                      | 1,54                      |         | Uflacker (1995)            |
| 9,25                      | 9,25                      |         | Uflacker (1995)            |
| 1,54                      | 1,54                      |         | Uflacker (1995)            |
| L                         | 2,61                      |         | Uflacker (1995)            |
| 1,16-4,48                 | 2,82                      | TCM     | Löwenstein (1994)          |
| 2,33                      | 2,33                      | CVM     | Löwenstein (1994)          |
| 1,17                      | 1,17                      |         | Schwalto (1994)            |

| Wertschere        | Wertansatz  | Methodere | Quelle                   |
|-------------------|-------------|-----------|--------------------------|
| 0,79              | 0,79        |           | Schwalto (1994)          |
| 2,15-296          | 2,56        | CVM       | Bishop (1992)            |
| 2,84-7,04         | 4,95        | TCM       | Willis (1991)            |
| 2,52-5,16         | 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        |           | Schelbert-Syfrig (1988)  |
| <b>Mittelwert</b> | <b>2,46</b> |           |                          |

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

| Zahlung pro Monat/Haushalt [€]   |              |   |
|--|--------------|---|
| Zahlungsbereitschaft für Lokalen Naturschutz                           | 2            | Degenhardt (1998)                       |
| Errichtung von 15% der Fläche Schleswig-Holsteins als NSG (Nicht Wald) | 10,46        | Van 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)                      |
| <b>Mittelwert</b>  | <b>8,99</b>  |   |
| <b>Zahlung pro Jahr/Haushalt [€]</b>                                   |              |   |
| 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)            |
|  | <b>46,25</b> |   |

Tabelle XII: Berechnung der CO<sub>2</sub> Senkleistung, verändert nach Paul (2020)

| Baumartengruppe  | Gesamt-<br>holzboden<br>fläche [ha] | jährl. Lauf-<br>Zuwachs je<br>ha | Gewicht frisch<br>[kg/fm] | Darr-<br>gewicht<br>[kg/fm] | Faktor | Kohlenstoff-<br>gehalt im Holz<br>Faktor | Oxidationswe-<br>rt CO <sub>2</sub> je<br>Tonne C | Senkleistung je<br>Baumart<br>[t/ha/a] | Senkleistung<br>je Baumart<br>[t/ha] |
|--|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------|--|---|--|--------------------------------------|
| Eichen   | 157,8                               | 3,6                              | 1.113                     | 687                         | 0,62   | 0,5                                      | 3,7   | 4,13                                   | 651,59                               |
| Buche  | 127,71                              | 9,8                              | 1.123                     | 674                         | 0,6    | 0,5                                      | 3,7   | 10,88                                  | 1389,23                              |
| aLh  | 38,54                               | 8,1                              | 873                       | 578                         | 0,66   | 0,5                                      | 3,7   | 9,89                                   | 381,16                               |
| aLn  | 74,27                               | 4,5                              | 983                       | 491                         | 0,5    | 0,5                                      | 3,7   | 4,16                                   | 309,15                               |
| Pappel   | 4,44                                | 8,9                              | 1.115                     | 414                         | 0,37   | 0,5                                      | 3,7   | 6,09                                   | 27,05                                |
| Kiefer   | 1,63                                | 4,3                              | 705                       | 488                         | 0,69   | 0,5                                      | 3,7   | 5,49                                   | 8,95                                 |
| Lärche   | 40,1                                | 5,6                              | 988                       | 513                         | 0,52   | 0,5                                      | 3,7   | 5,39                                   | 216,03                               |
| Fichte   | 123,72                              | 11,4                             | 800                       | 443                         | 0,55   | 0,5                                      | 3,7   | 11,60                                  | 1435,09                              |
| Douglasie  | 10,16                               | 13,8                             | 720                       | 500                         | 0,69   | 0,5                                      | 3,7   | 17,62                                  | 178,98                               |
| Gesamt   | 578,28                              |                                  |                           |                             |        |  |   |  | 4597,22                              |
| Mittelwert "Senkleistung [t/ha/a] (gewichtet nach<br>Flächenanteilen): |                                     |                                  |                           |                             |        |  |   |  | 7,95                                 |
| Ohne Fichte  |                                     |                                  | 454,56                    |                             |        |  |   |  | 6,96                                 |

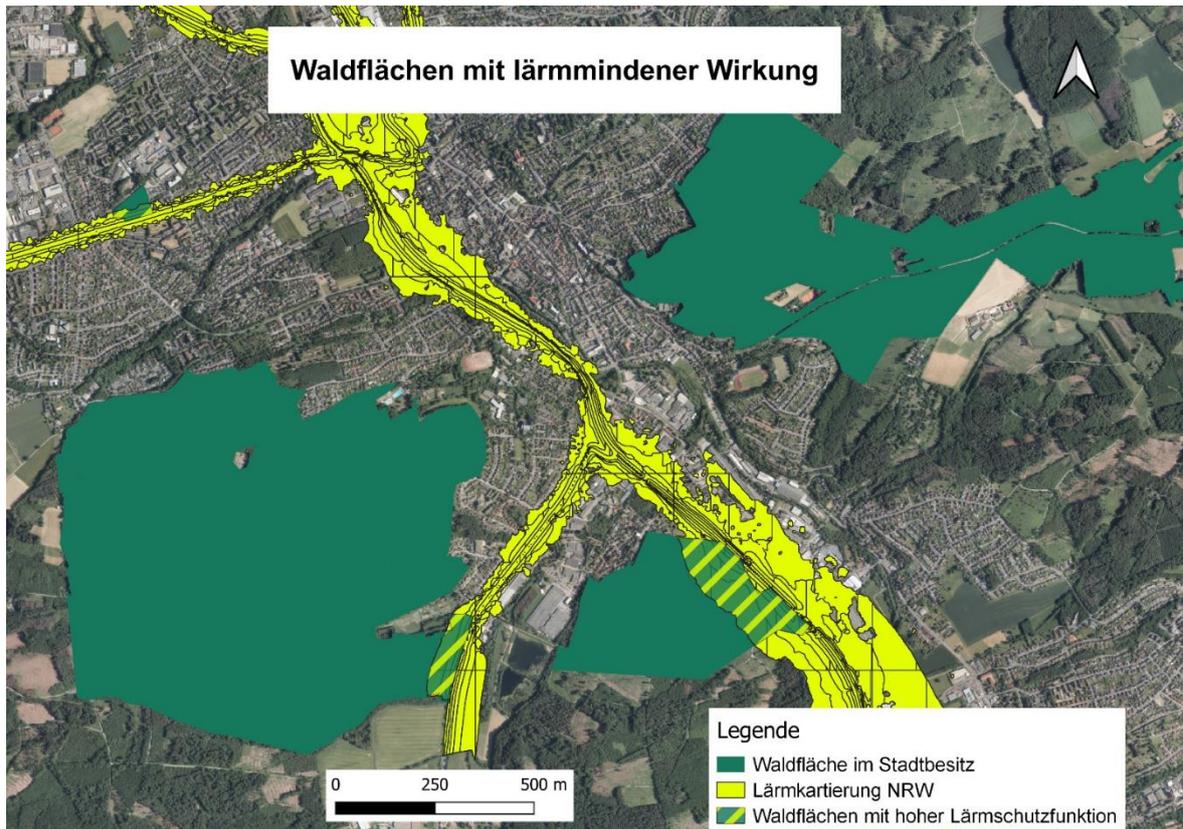


Abbildung I: Eigene Darstellung der Waldfläche mit lärmmindernder Wirkung in QGIS anhand der Lärmkartierung NRW (Überschneidung Waldfläche/Lärmkartierung)

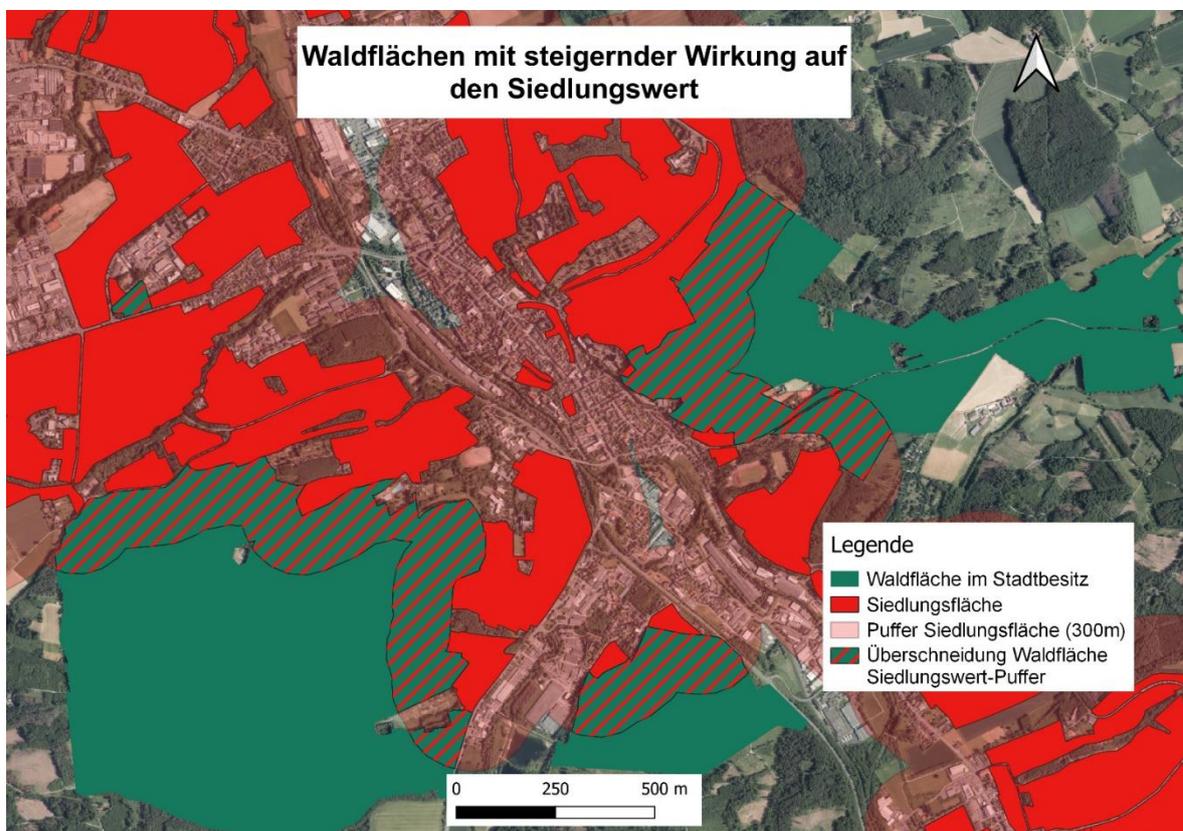


Abbildung II: Eigene Darstellung der Wirkung des Waldes auf den Siedlungswert in QGIS (300 m Puffer um die Siedlungen; Steigerung des Siedlungswertes bei Überschneidung mit der Waldfläche Mendens)

### Berechnung I:

#### Berechnung des korrigierten Niederschlags nach Paul (2020) am Beispiel der Stadt Menden

|                                 |   |                                  |   |                          |
|---------------------------------|---|----------------------------------|---|--------------------------|
| 0,47                            | x | 0,696                            | = | 0,32712                  |
| Faktor Grundwasserabfluss<br>LH | x | Faktor LH-Anteil<br>Stadt Menden | x | Grundwasserabfluss<br>LH |
| 0,33                            | x | 0,304                            | x | 0,10032                  |
| Faktor Grundwasserabfluss<br>NH | x | Faktor NH-<br>Anteil Menden      | x | Grundwasserabfluss<br>NH |

 Gewichteter Mittelwert aus LH & NH  $(0,32712 + 0,10032) = 0,42744$

|                     |   |                                       |   |  |
|---------------------|---|---------------------------------------|---|--|
| 858                 | x | 0,42744                               | = | 366,74352  |
| Niederschlag (mm/a) | x | Gewichteter Mittelwert aus<br>LH & NH | = | Korrigierter<br>Niederschlag (l/m <sup>2</sup> /a) |

### Berechnung der Verdunstung:

|                     |   |                                 |   |                    |
|---------------------|---|---------------------------------|---|--------------------|
| 858                 | x | (1-0,42744)                     | = | 491,25648          |
| Niederschlag (mm/a) | x | (100% - gewichteter Mittelwert) | = | Verdunstung (mm/a) |

### Berechnung II:

#### Bsp.-Rechnung der CO<sub>2</sub>-Senkleistung der Eiche (übertragbar auf alle anderen BA)

1. Literaturrecherche des Darr- und Frischgewichtes der Eiche, Bildung eines Mittelwertes aus verschiedenen Quellen (Baumeister 2021; Lenz 2022; Lohmann 2012; Rast 2021)

Literaturwerte für Ei frisch: 1200 kg/fm, 950-1100 kg/fm. Berechnung des Mittelwertes:

$$[(950 \text{ kg/fm} + 1100 \text{ kg/fm})/2 + (1200 \text{ kg/fm})] / 2 = 1.113 \text{ kg/fm (frische Ei)}$$

Literaturwerte für Ei darrtrocken: 660 kg/fm, 714 kg/fm. Berechnung des Mittelwertes:

$$(660+714) / 2 = 687 \text{ kg/fm (darrtrockene Ei)}$$

2. **687 kg/fm** (darrtrockene Ei) / **1.113 kg/fm** (frische Ei) = **0,62** (Faktor)

3. **3,6 fm** (laufender Zuwachs Ei/ha) x **0,62** (Faktor) = **2,22 fm**

4. 1 fm darrtrockenes Holz enthält 50 % Kohlenstoff

$$2,22 \text{ fm} \times 0,5 \text{ (Faktor Kohlenstoff)} = 1,11 \text{ t (Kohlenstoff)}$$

5.  $1,11 \text{ t (Kohlenstoff)} \times 3,7 \text{ (Oxidationswert CO}_2 \text{ je Tonne C)} = 4,11 \text{ t/ha/a}$

6. Ergebnis: **4,11 t/ha/a** Senkleistung der Ei

Für die Berechnung der Senkleistung der Ei in Stadtwald Menden:

$4,11 \text{ t/ha/a (Senkleistung der Ei)} \times 157,8 \text{ ha (Gesamtfläche Ei)} = 648,558 \text{ t/a}$

## Allgemeiner Hinweis

Die Prüfer/innen übernehmen keine Gewähr für die Richtigkeit der Ergebnisse und Aussagen von Abschlussarbeiten.

## Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbständig erstellt und nur die angegebenen Hilfen benutzt habe.

Ich bin damit einverstanden, dass meine Abschlussarbeit von der Bibliothek des Fachbereiches ausgeliehen werden darf.

Name: **Niklas Schrödel**

Göttingen, 09.01.2022  
(Datum)

*N. Schrödel*  
(Unterschrift)