Hildesheimer Geographische Studien Bd. 9	2019	S. 66 – 90

Geoökologische Untersuchungen zur Immissionsbelastung des Stadtwaldes Eilenriede (Hannover)

Mischa Wittmar & Martin Sauerwein

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit dem Wirkungsgefüge aus anthropogenen NO_x-Einträgen in ein urbanes Wald-Ökosystem. Mittels einer dreigliedrigen Untersuchungsmethodik, die die Umweltmedien Boden, Luft und Biosphäre widerspiegelt, wird in dem Stadtwald Eilenriede (Hannover) untersucht, inwiefern eine Filter- und Senkenfunktion des Waldes messbar ist und welche negativen Rückkopplungen für den Wald bestehen. Zudem wird eine Ausdifferenzierung der unterschiedlichen Resilienzen von Rotbuche (*Fagus sylvatica*) und Stieleiche (*Quercus robur*) gegenüber NO_x getroffen. Hierfür wurden drei Untersuchungsflächen unter der Prämisse der Vergleichbarkeit in Artenzusammensetzung, Alter und Geländestruktur mit differenten Expositionen zum Verkehr ausgewählt. Die Ergebnisse zeigen, dass die verkehrsexponierten Untersuchungsbäume unter den gesteigerten NO_x-Einträgen eine herabgesetzte Resilienz aufweisen und deutlich empfindlicher auf weitere Umwelteinflüsse reagieren. Insbesondere die Stieleichenbestände reagieren nuancierter auf die zusätzlichen Stressoren. Zugleich ist ein Filtereffekt von bis zu 50 % und eine Senkenfunktion anhand aktuell ablaufender Versauerungsprozesse festgestellt worden.

Schlüsselwörter: Stadtökologie, Stadtwald, Immissionsbelastung, Hannover

Summary

The present study deals with the effects of anthropogenic NOx inputs in an urban forest ecosystem. By means of a tripartite investigation methodology, which reflects the environmental media soil, air and biosphere, in the urban forest Eilenriede (Hanover) is examined to what extent a filter and sink function of the forest is measurable and which negative feedbacks exist for the forest. In addition, a differentiation of the different resilience of red beech (*Fagus sylvatica*) and pedunculate oak (*Quercus robur*) is made against NOx. Three study sites were selected under the premise of comparability in species composition, age and terrain structure with different exposure to traffic. The results show that the traffic-exposed investigation trees have a reduced resilience under the increased NOx inputs and react much more sensitively to other environmental influences. In particular, the pedunculate oak stands react more nuanced to the additional stressors. At the same time, a filter effect of up to 50% and a sink function have been determined on the basis of currently occurring acidification processes.

Keywords: **Urban Ecology, Urban Forest, Immission Pollution, Hanover**

1. Anlass und Zielsetzungen

Die Möglichkeit der Nutzung fossiler Energieträger löste in Europa nicht nur die Industrialisierung aus, sondern sorgte auch dafür, dass verstärkt Emissionen von C-, N- und S- enthaltenden Spurengasen in die Atmosphäre imitiert werden (BLIEFERT 2002:124). Insbesondere sind Schwefeldioxide (SO_2) und Stickstoffoxide (NO_x) über nasse, feuchte und trockene Deposition in die Ökosysteme eingetragen worden. Da Wälder eine erhöhte Interzeptionsrate gegenüber Freilandflächen aufweisen, konzentrieren sich S- und N-haltige Verbindungen besonders in Waldökosystemen. Der erhöhte Eintrag der Spurengase löste vielfältige boden- und vegetationsökologische Veränderungen aus, die sich negativ auf die

Umwelt auswirkten (ELLING et al. 2007:43f., SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010:452f.). Die festgestellten immissionsbedingten Waldschäden lösten in den 60er Jahren bis in die 80er Jahre intensive Diskussion in Deutschland aus und mündeten in der Verordnung für Großfeuerungsanlagen im Jahr 1983. Die Verordnung sah vielfältige Maßnahmen zur Luftreinerhaltung, u.a. den Prozess der Nassentschwefelung, vor (ELLING et al. 2007:38 & 43).

In den Folgejahren sind Rückgänge der Sulfatschwefeleinträge und ein Anstieg der Boden-pH-Werte ermittelt worden. Beispielsweise ist im Solling unter den Kronen eines Fichtenbestandes ein Rückgang der Sulfatschwefeleinträge von 108 kg/ha auf 6,1 kg/ha gemessen worden. Zudem konnte der pH-Wert im Niederschlagswasser in Deutschland, der im Mittel von 5,7 kontinuierlich auf 4,1 oder in Form von Nebel auf < 3 ins stark saure Milieu übergegangen war, um 0,5 in das schwach saure Milieu zurückgeführt werden (NW-FVA 2017a:5, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010:452). Die NO_x-Werte sind hingegen nur leicht gemindert worden. Die Emissionen aus Großfeuerungsanalgen wurden reduziert, aber die Einträge aus der Landwirtschaft und dem stetig ansteigenden Verkehrsaufkommen führten dazu, dass der anorganische Stickstoffeintrag, aktuell mit einem Anteil von 81–91 %, der Hauptinitiator der Gesamtsäurebelastung ist (ELLING et al. 2007:38,43, NW-FVA 2017a:5). Damit steht gegenwärtig die verkehrsgetragene Schadstoffbelastung, insbesondere NO_x, für Umwelt und Mensch im Fokus. Hinzu kommt, dass laut Waldzustandsbericht der NW-FVA (2017a:4) eine Zunahme der Verlichtungsraten der zwei Hauptlaubbaumarten, Rotbuche auf 24 % und Eiche auf 32 %, diagnostiziert worden ist. Im Rahmen der vorgestellten Untersuchung werden kleinräumige Bemessungen der verkehrsgetragenen Emissionen durchgeführt und die Wirkung auf das Ökosystem Wald empirisch erfasst. Als Untersuchungsraum ist der Stadtwald Eilenriede in Hannover, als exponierter Standort für SO_2 und NO_x Emissionen, gewählt und drei Untersuchungsflächen angelegt worden (vgl. Abb. 1).

Folgende Zielsetzungen wurden entwickelt:

- Ist über die Umweltmedien Atmosphäre, Boden und Biosphäre eine Filter- und Senkenfunktion der Eilenriede identifizierbar?
- Ist auf den Untersuchungsflächen eine verkehrsgetragenen Schadstoffbelastung messbar? Dazu werden für die Hauptbaumarten Rotbuche und Stieleiche Vitalitätsunterschiede untersucht.

2. Untersuchungsgebiet und geoökologische Rahmenbedingungen

Die Stadt Hannover liegt am Übergang zwischen der nordwestdeutschen Tiefebene und der Mittelgebirgsschwelle (KUES 1987:16, REGION HANNOVER 2013:13, STADT HANNOVER 2016:4f.). Die Region Hannover ist mit 1,12 Mio. Menschen auf 23.000 ha Fläche der am dichtesten besiedelte und wirtschaftlich stärkste Raum in Niedersachsen (REGION HANNOVER 2013:9 & 13). Innerhalb dieses Ballungsraums liegt östlich des Stadtzentrums die Eilenriede (vgl. Abb. 1).

Mit einer Ausdehnung von 635,92 ha ist die Eilenriede der größte innenstadtnahe Stadtwald Europas und untergliedert sich in zwei Forstsektionen (LWK NIEDERSACHSEN 2012a:9, STADT HANNOVER 2016:4). Der Name „Eilenriede“ leitet sich von der Baumart Erle (*Alnus*) ab und gibt einen Hinweis auf die 600 jährige Entstehungsgeschichte des Stadtwaldes (STADT HANNOVER 2016:4). Die Erle bevorzugt feuchte Standorte und ist dementsprechend nach ELLENBERG et al. (2001:81) mit einer Feuchtezahl von 9 gekennzeichnet. Geomorphologisch liegt die mittelalterliche Stadt Hannover auf einer trockenen Rückenstruktur. Diese wird von den Senken des Leinetals und dem Standort der Eilenriede, dem Wietzeniederungsgebiet, umfasst. Der Standort ist gekennzeichnet durch weichselkaltzeitliche Talsandflächen und einen hohen Grundwassereinfluss. Hieraus resultieren die sumpfigen Standortbedingungen und die damaligen, idealen Wuchsbedingungen der Erle im Waldgebiet. Zudem blieb das Areal als Siedlungsgebiet sowie für die landwirtschaftliche Nutzung nur vermindert attraktiv. Die anthropogene Nutzung der Eilenriede bestand aus der Holzproduktion, Weidefunktion und der, von den Bürgern früh

erkannten, Erholungsfunktion des Waldes. Darüber hinaus kam der Eilenriede eine Schutz- und Zollfunktion zu, die noch heute an den Gräben und Wällen im Waldgebiet zu erkennen ist (DUTTMANN 1985:9f., STADT HANNOVER 2016:6 & 8). Die Nutzung der Eilenriede hat sich von der Sicherung der Grundbedürfnisse zu vielfältigen ökologischen und sozialen Funktionen gewandelt. Im Vordergrund steht der früh entdeckte Erholungswert der Eilenriede (LWK NIEDERSACHSEN 2012a:4, SCHMIDT 2014:9).

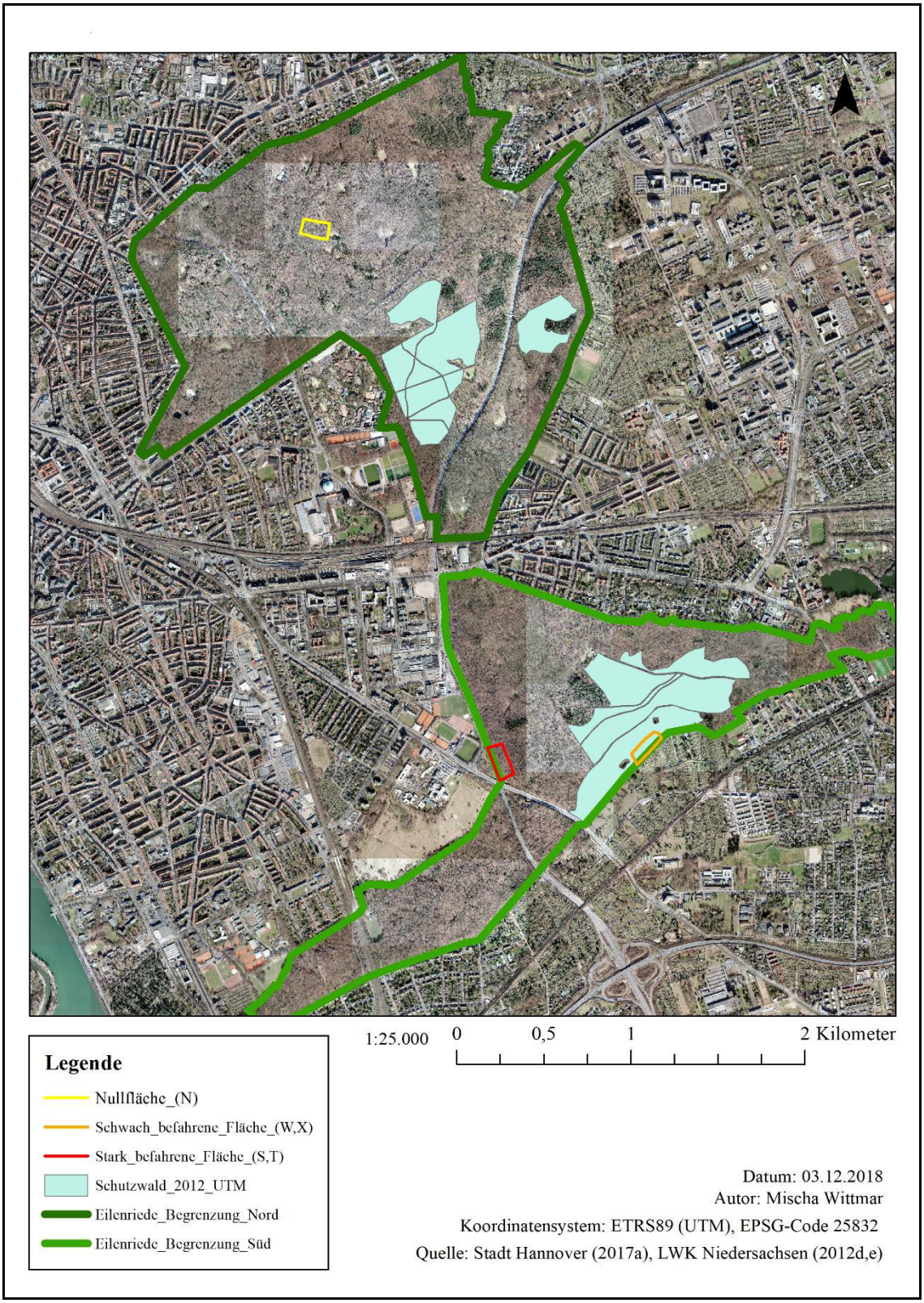

Abb. 1: Übersichtskarte der Eilenriede.

Die forstliche Ausdehnung und Ausstattung der Eilenriede unterlag einem stetigen Wandel. So ist um 1720 durch den Chronisten REDECKER in STADT HANNOVER (2016:23) vermerkt, dass die Wald- und Artenstruktur der Eilenriede einen deutlich feuchteren und lichteren Erlenwald als den heutigen bestehenden Laubwald beschreibt (vgl. Kap. 3.1; STADT HANNOVER 2016:13). Die gezielt geförderten Eichenbestände und Rotbuchennaturverjüngungen führen zu einer aktuellen Bestockung von 35,2 % Eiche, 25,7 % Rotbuche, 13,4 % andere Laubbäume mit hoher Lebenserwartung (Alh), 13,1 % andere Laubbäume mit niedriger Lebenserwartung (Aln) und 12,5 % Nadelgehölzen auf der gesamten Fläche der Eilenriede (LWK NIEDERSACHSEN 2012a:11).

Die Fläche des nördlichen Teils der Eilenriede wurde hingegen seit dem Jahr 1300 kaum verändert. Im südlichen Teil der Eilenriede wurde die Gesamtfläche kontinuierlich erweitert. Entlang der Zuschlagstraße erfolgten zwischen 1900 und 1930 Zuschläge bzw. Aufforstungen (DUTTMANN 1985:13). Trotz dieser Veränderungen ist die Eilenriede durch eine „ungewöhnliche Naturnähe“ gekennzeichnet (ELLENBERG in DUTTMANN (1985:2)). Die Stadt Hannover sichert unter dem Leitbild: „Erhaltung, Entwicklung vitaler, stabiler, starker von Eiche geprägter Laubholzbestände unter Berücksichtigung der Belange des Naturschutzes und der Verkehrssicherung“ (LWK NIEDERSACHSEN 2012a:4) die Naturnähe der Eilenriede. Als weitere Maßnahmen zum Erhalt der natürlichen Prozesse ist eine Wertholzzucht mit Zielstärkennutzung unterbunden und 124,83 ha des Stadtwaldes als Schutzwald ausgewiesen. In diesem Teil dürfen, mit Ausnahme von Verkehrssicherungsmaßnahmen, keine Eingriffe mehr erfolgen (vgl. Abb. 1; LWK NIEDERSACHSEN 2012a:10).

Die **Bestandsstruktur der Nullfläche** setzt sich vorwiegend aus Stieleiche (*Quercus robur*) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*) mit Vergesellschaftungen aus Alh zusammen. Im Unterstand und Aufwuchs sind Hainbuchen (*Carpinus betulus*), Rotbuche (*Fagus sylvatica*) sowie Spitz- (*Acer platanoides*) und Bergahorn (*Acer pseudoplatanus*) zu finden. Die Stieleiche nimmt dabei den größten Flächenanteil ein, wobei das Bestandsalter im Schnitt bei über 100 Jahren liegt (LWK NIEDERSACHSEN 2013b:66).

In der **Bestandsstruktur der verkehrsberuhigten Fläche** (STADT HANNOVER 2017a, LWK NIEDERSACHSEN 2012e) sind die Koordinaten der Bäume in der ersten Reihe die Stieleichen W1–5 und die Rotbuchen W1–5 sowie in der zweiten Reihe die Stieleichen X1–5 und Rotbuchen X1–4. Dieser Bereich gehört seit 2012 den Schutzwaldarealen der Eilenriede an (REGION HANNOVER 2013:666). Ähnlich der Nullfläche, setzt sich die verkehrsberuhigte Fläche hauptsächlich aus Stieleichen zusammen. Neben der Stieleiche folgen Rotbuche, Alh und Aln als Hauptbestand. Spitz-, Bergahorn, Esche (*Fraxinus excelsior*), Hainbuche, Winterlinde (*Tilia cordata*) und abermals die Rotbuche bilden den Unterstand und sind in Naturverjüngung wiederzufinden. Das Bestandsalter liegt im Schnitt bei über 100 Jahren (LWK NIEDERSACHSEN 2013c:29).

In der **Bestandsstruktur der stark befahrenen Fläche** (STADT HANNOVER 2017a, LWK NIEDERSACHSEN 2012e) sind die Koordinaten der Bäume der ersten Reihe S1–5 Stieleiche und S1–5 Rotbuche, und der zweiten Reihe T1–5 Stieleiche und T1–4 Rotbuche. Jede der drei Untersuchungsflächen wird hauptsächlich von 100 jähriger Eiche dominiert und ist somit generalisiert betrachtet mit einer sehr ähnlichen Bestandsstruktur wie die weiteren Untersuchungsflächen ausgestattet. Im Detail ist der Bestand der stark befahrenen Fläche zu annähernd gleichen Anteilen von Stieleichen und Rotbuchen dominiert und unterscheidet sich somit marginal von den anderen Flächen. Als Beimischung finden sich Alh, Aln und wenige Nadelgehölze, wie die Fichte (*Picea abies*) und Europäische Lärche (*Larix decidua*), im Hauptbestand wieder. Der Unterstand und die Naturverjüngung bestehen aus denselben Artzusammensetzungen wie in den vorab beschriebenen Flächen. Als einzige noch nicht aufgeführte Art ist die Eibe (*Taxus baccata*) zu ergänzen. Das Bestandsalter liegt im Durchschnitt bei etwas über 100 Jahren (LWK NIEDERSACHSEN 2013c:11).

Aus der allgemeinen Beschreibung und den Beständen der drei Untersuchungsflächen wird eine Korrelation zu den kartierten Hauptbiotoptypen in der Eilenriede deutlich. Diese sind (REGION HANNOVER 2013:51, 56 & 58, VON DRACHENFELS 2016:53, 59 & 61f.):

- (WMT) Mesophiler Buchenwald kalkärmerer Standorte des Tieflandes,
- (WCR) Eichen- und Hainbuchen-Mischwald feuchter, basenreicher Standorte in besonderer Ausprägung in der südlichen Eilenriede,
- (WCN) Eichen- und Hainbuchen-Mischwald nasser, basenreicher Standorte,
- (WQL) Eichen-Mischwald lehmiger, frischer Sandböden des Tieflandes.

Daraus ergibt sich ein Waldstandort, der von bodensauren und mesophilen Eichen-Mischwald- und Buchen-Gesellschaften mit z.T. feuchten Ausprägungen sowie abschnittsweise hohen Altholzanteilen dominiert wird (REGION HANNOVER 2013:508).

Zudem geht aus den Beschreibungen der unterschiedlichen Flächen eine ähnliche Ausprägung der Bestandsstruktur und der Hauptbaumarten Stieleiche sowie Rotbuche hervor. Die Stieleiche beziffern ELLENBERG et al. (2001:134) mit 7 in der Lichtzahl (L), 6 in Temperaturzahl (T), 6 in der Kontinentalitätszahl (K) und mit einem indifferenten Verhalten in Feuchtigkeit (F), Reaktionszahl (R) und Stickstoffzahl (N). Zudem ist die Stieleiche laut ELLENBERG (20013:134) nicht salzertragend. Zusammenfassend betrachtet ist die Stieleiche eine Baumart, die in den tieferen Lagen auf feuchten, lehmigen bis tonigen Böden vorkommt und in einem gewissen Maß tolerant gegenüber Klimaextremen ist. Erhöhte Ansprüche weist die Stieleiche bezüglich Nährstoffen und Licht auf (ELLENBERG 2001:134, ROLOFF 2001:105). Die Rotbuche ist nach ELLENBERG et al. (2001:105) mit 3 in L, 5 in T, 2 in K, 5 in F und mit einem indifferenten Verhalten in R und N gekennzeichnet. Wie die Stieleiche ist auch die Rotbuche nicht salzertragend. Die Dominanz büßt die Rotbuche nur bei extremen Standorten bezüglich Wasserhaushalt (sehr trockene und nasse Standorte) sowie bei sehr geringen pH-Werten ein (ELLENBERG et al. 2001:105, ROLOFF 2001:45).

Neben dem maßgeblichen Faktor des Grundwassereinflusses, ist die **Geologie** für die Bodenentwicklung in der Eilenriede ausschlaggebend. Die Stratigraphie der nördlichen Eilenriede ist hauptsächlich aus weichselkaltzeitlichen Talsandflächen der Leine-Wietze-Niederung aufgebaut. Petrographisch bestehen die Talsandflächen aus Mittel- und Feinsanden (KUES 1987:26, LBEG 2017:102,187, LBEG 2014:o.S.). Im südlichen Teil der Eilenriede zeigt sich die Geologie diverser. Entlang der B3 setzt sich die beschriebene Geologie der nördlichen Eilenriede fort und geht über in weichselzeitliche Schwemmfächerablagerungen. Diese setzen sich petrographisch aus verschwemmten Sanden aller Korngrößen und feinem Kies zusammen. Im südöstlichen Teil wird das Gebiet von Schiefertonen aus der Unterkreide unterlagert. Die Stratigraphie entlang der Zuschlagstraße ist aus Geschiebelehmen und -mergel aus dem Drenthestadium der Saalekaltzeit aufgebaut. Die Mittelterrasse der Grundmoräne setzt sich petrographisch vor allem aus Ton und Schluff zusammen (vgl. Abb. 1; KUES 1987:26, LBEG 2017:71, 102, 185, 187, 192 & 221, LBEG 2014:o.S).

Die **Hauptbodentypen** der Eilenriede sind Podsole, Gleye und verschiedene Subtypen dieser Bodentypen. In der nördlichen Eilenriede variieren die genannten Bodentypen teilweise sehr stark auf kleinstem Raum. Bedingt wird dieses kleinräumige Bodenmosaik durch das Wirkungsgefüge zwischen Geologie, Geomorphologie und Grundwasser (STADT HANNOVER 2016:18). Die Niederung des Gebietes ist grundlegend durch Schmelzwasserabflüsse im Drenthestadium der Saalekaltzeit angelegt und im Quartär mit den Sanden und Kiesen des Weichselglazials eingeebnet worden (SPEIER & POTT 1999:282). Hervorgehend aus dem Sedimentierungsprozess, der über die Zeit variabel in der Intensität verlief, und der ehemaligen Formung als Niederung, sind eine wellig angelegte geologische Schichtung und ein durchschnittlicher Höhenunterschied von einem Meter in der Eilendriede festzustellen. Je nach Schichtenverlauf und Potenzial als Grundwasserleiter treten oberflächennah unterschiedliche Feuchtigkeits- und Nährstoffpotenziale auf und beeinflussen die Bodenbildung beträchtlich (KUES

1987:28, SPEIER & POTT 1999:282, STADT HANNOVER 2016:18). Die südliche Eilenriede setzt sich aufgrund des hauptsächlich sandigen bis kiesigen Ausgangssubstrats aus tiefgründigen Podsolen und im Bereich des Geschiebelehms und -mergel aus flachen Gleyen bis Pseudogleyen zusammen (vgl. Abb. 6 & 5; KUES 1987:26).

Die Stieleichen und Rotbuchen im Bereich der **Nullfläche** stocken auf einem tiefen Braunerde-Gley. Anhand der Geologie kann auf eine eher basenarme Braunerde bzw. saure Braunerde geschlossen werden. Aus der Klasse der hydromorphen Böden stammt der Gley, der als Vergesellschaftungsform identifiziert ist. Allerdings ist durch das Einwirken grundwassersenkender Maßnahmen eine beträchtliche Schwankung des Grundwasserspiegels von 1,5–2 m festgestellt worden (DUTTMANN 1985:36, LBEG 2014:o.S). Ausgehend von der Qualität der bodenbildenden Substrate ist die Nährstoffausstattung als ausreichend zu klassifizieren (REHFUESS 1990:37f.). Durch den vom Kronsberg kommenden, carbonathaltigen Grundwasserstrom wird die Ausstattung an Nährstoffen jedoch deutlich aufgebessert und ist für die gesamte Eilenriede als maßgeblicher Nährstoffgeber zu konstatieren (DUTTMANN 1985:33).

Im Bereich der **verkehrsberuhigten Fläche** ist eine Vergesellschaftung aus tiefem Braunerde-Pseudogley identifiziert worden. Der Pseudogley ist stärker durch die natürlichen Schwankungen des Wasserhaushaltes gekennzeichnet und gilt im Vergleich zum Gley als weniger grundwasser- sondern stauwasserbeeinflusst (Ad-hoc-AG BODEN 2005:226, REHFUESS 1990:87ff.). Jedoch ist der Pseudogley bei einer tiefsitzenden Staunässe weiterhin als ökologisch wertvoll zu betrachten. Ausgehend von dem unterlagernden Geschiebelehm und -mergel, ist die Nährstoffausstattung des Braunerde-Pseudogleys als gut zu betrachten. Der Pseudogley kann für den Standort in Trockenperioden als Wasserspeicher dienen und, bei einer entsprechenden Bestockung mit tiefwurzelnden Baumarten, auch in den Vernässungsphasen als unproblematisch eingestuft werden (REHFUESS 1990:93f.).

Laut bodenkundlicher Stadtkarte von Hannover lassen sich neben der **stark befahrenen Fläche** (B3) mittlere Gley-Podsole diagnostizieren. Der Bodentyp des Podsols entsteht häufig auf kalkarmen Substraten und korreliert somit mit der eingangs beschriebenen Geologie des Gebietes. Charakteristisch bildet sich ein Rohhumuskörper mit sauren Bedingungen aus (REHFUESS 1990:73). Unterstützt wird diese Wirkung durch die Filterfunktion der Bäume und der daraus resultierenden Anreicherung von niedermolekularen sauren Stoffen im Boden, die auch von den Wurzeln der Bäume ausgeschieden werden. Die Verlagerungsprozesse schließen die organischen Säuren mit ein, was dazu führt, dass auch in tieferen Bodenhorizonten eine verstärkte Zersetzung der Minerale erfolgt. Daraus resultiert eine Herabsetzung der Wasserhaltekraft (REHFUESS 1990:71 & 81). Die häufigste Mangelerscheinung auf Podsolböden ist ein Stickstoffdefizit. Durch die erhöhten emissionsbedingten, atmosphärischen Stickstoffeinträge ist dieser Mangel zumindest in Deutschland weitestgehend zurückgegangen (REHFUESS 1990:77). Der Mangel an Magnesium, Calcium, Kalium und Wasser bleibt jedoch bestehen. Diese Mängel werden erst in den grundwasserbeeinflussten Gleybereichen des Bodens durch die beschriebene Nährstoffzufuhr des Grundwasserstroms abgemildert (REHFUESS 1990:79f.). Die Standortbedingungen sind hier von den drei Untersuchungsflächen als am negativsten zu bewerten.

Die Stadt Hannover liegt 55 m über NN und nimmt nicht nur eine landschaftliche sondern auch eine **klimatische** Übergangsstellung ein. So treffen die Klimabedingungen der nordwestdeutschen Tiefebene, die ozeanisch geprägt sind, mit den Klimabedingungen des Braunschweiger Raums, die kontinental geprägt sind, in Hannover aufeinander (DWD 2018a, SPEIER & POTT 1999:280). Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge und Jahrestemperatur für den Raum Hannover liegen bei 656 mm und 8,9° C (DWD 2018d:13). Über den Zeitraum von 1880 bis 2017 sind die Niederschlagsmengen um 15 % und die Jahrestemperatur um 1,5° C im Mittel angestiegen (DWD 2018d:17, 21 & 23). Für die Monate Juni, Juli und August 2018 sind in Tab. 1 die durchschnittlichen Temperaturen und Niederschläge angegeben.

Tab. 1: Durchschnittliche Temperatur und Niederschlagsmengen in den Monate Juni, Juli und August 2018 (DWD 2018a,b,c).

	Juni 2018	Juli 2018	August 2018
durchschnittliche Temperatur [°C]	18,1 °C	20,7 °C	20,0 °C
Summe der Niederschläge [mm]	21 mm	82 mm	39 mm

Die angegebenen Werte sind über die Klimastation in Hannover Langenhagen ermittelt. Im Stadtgebiet ergeben sich räumliche Schwankungen der Niederschlagsmengen und Temperaturen. Die Niederschlagswerte für den Zeitraum von 1957 bis 1975 weisen eine 8 % höhere Niederschlagsmenge im Bereich der Eilenriede gegenüber den Werten der Wetterstation in Langenhagen auf (STOCKMANN 1981:65). Laut Umweltbericht der STADT HANNOVER (2012:70) sind die Temperaturen im Bereich der Eilenriede im Vergleich zum umliegenden Stadtgebiet etwas geringer.

Die **Luftgütesituation** hat sich in Folge der bundesweiten Luftreinerhaltungsmaßnahmen durch emissionsmindernde Maßnahmen und Stilllegungen von großen Industrieanlagen gebessert (STADT HANNOVER 2018). Zudem ist seit 2008 die Wirkung luftreinerhaltender Maßnahmen, wie beispielsweise die Umweltzone, im Stadtgebiet von Hannover positiv hinterlegt (STADT HANNOVER 2017b). Die Jahresmittelwerte der Feinstaubbelastung sind seit dem Jahr 2003 kontinuierlich zurückgegangen und liegen seit 2004 unter dem Grenzwert der EU von 40 µg/m^3 im Jahresdurchschnitt. Allerdings kommt es noch immer zu Überschreitungen der mittleren Tagesgrenzwerte der EU. So wurden für das Jahr 2017 insgesamt neun Tage ermittelt, die den Grenzwert von 50 µg/m^3 überschritten haben (STADT HANNOVER 2018). Die Einhaltung der SO_2-Grenzwerte spielt dabei keine Rolle, da keine bedeutende Industrie als Emittent im Raum Hannover angesiedelt ist (LÜN 2017:6ff.). Konträr hierzu zeichnet sich die Entwicklung der NO_2-Werte ab. Seit 2011 ist eine Stagnation und seit 2015 ein Anstieg der NO_2-Jahresmittelwerte belegt (STADT HANNOVER 2017b). Wesentliche Gründe hierfür sind darin zu sehen, dass die Anzahl der zugelassenen Fahrzeuge in Hannover im Zeitraum von 2008 bis 2016 kontinuierlich von 205.299 auf 227.544 Fahrzeuge gestiegen und jedes zweite Fahrzeug, insbesondere der neu zugelassenen Fahrzeuge, dabei mit einem Dieselmotor ausgestattet ist. Fahrzeuge, die mit einem Dieselmotor der Euro 6 Norm angetrieben werden, sind hierbei als besonders problematisch einzustufen, da sie einen zehnfach höheren Ausstoß an NO_x-Emissionen entwickeln als vergleichbare Benzinmotoren (STADT HANNOVER o.J.). Vor dem Hintergrund dieser Fakten und der fast vollständigen Umschließung sowie Zerschneidung der Eilenriede mittels Straßen, sind die Untersuchungsflächen in der Eilenriede je nach Intensitätsgrad des Verkehrs gezielt ausgewählt worden. Die **stark befahrene Untersuchungsfläche** liegt an der B3 und weist ein durchschnittliches Jahresverkehrsaufkommen von 54.900 Kfz pro Tag auf (NLStBV 2015). Die an der Zuschlagsstraße gelegene, **weniger stark befahrene Untersuchungsfläche** weist ein Verkehrsaufkommen von 878 Kfz durchschnittlicher Tagesverkehrsstärke (DTV) auf (HÖVELING 2016).

3. Material und Methoden

Zur Erreichung der Zielsetzungen wurden feld- sowie labormethodische Ansätze der Bodengeographie, Luftreinerhaltung und Forstwirtschaft ausgewählt (Abb. 2).

Vorbereitend wurde anhand von **Luftbildern** und **Forstkarten** eine Auswahl der Flächen vorgenommen Die **Prämissen** für die Flächen waren eine eben verlaufende Reliefstruktur, eine vergleichbare Struktur des Waldbestandes hinsichtlich der unterschiedlichen Arten und des Baumalters sowie die differenzierte Anbindung an den Straßenverkehr. Die gestellten Prämissen erzielen den Effekt, dass die Einflussfaktoren der Untersuchungsflächen auf die Exposition zum Straßenverkehr reduziert werden. Zur Verifizierung und Auswahl der Probebäume erfolgte eine Begehung der Flächen im Gelände. Die Auswahl der Bäume orientierte sich an den Hauptbaumarten, der Stieleiche und Rotbuche. Zur Erhöhung der Repräsentativität wurden je Baumart und je Reihe fünf Probebäume ausgewählt und in jeder Reihe

zwei Passivsammler platziert. In den Flächen der verkehrsberuhigten und stark befahrenen Fläche wurde bei der Begehung festgestellt, dass die Bedingungen der Bestandsstruktur nur eine Auswahl von vier Rotbuchen in der zweiten Reihe zuließen. In der Nullfläche sind jeweils drei Probebäume pro Art ausgewählt und mit insgesamt zwei Passivsammlern bestückt worden. Insgesamt wurden 44 Untersuchungsbäume ausgewählt. Die Erhebung der SO_2- und NO_x-Untersuchungen erfolgte in den Zeiträumen vom 01.06.2018 bis 29.06.2018 (29 Tage) und zur Validierung vom 20.07.2018 bis 17.08.2018 (28 Tage). Am Ende der zwei Messkampagnen wurden die Bodenfeuchtemessung und Vitalitätsansprache der Untersuchungsbäume durchgeführt. Die Messungen erfolgten von Juni bis August, da die Vitalitätsansprache der Bäume auf diese Monate beschränkt ist (MEINING 2007:11). Die Bodenprobenentnahme erfolgte am 18.09. und 19.09.2018.

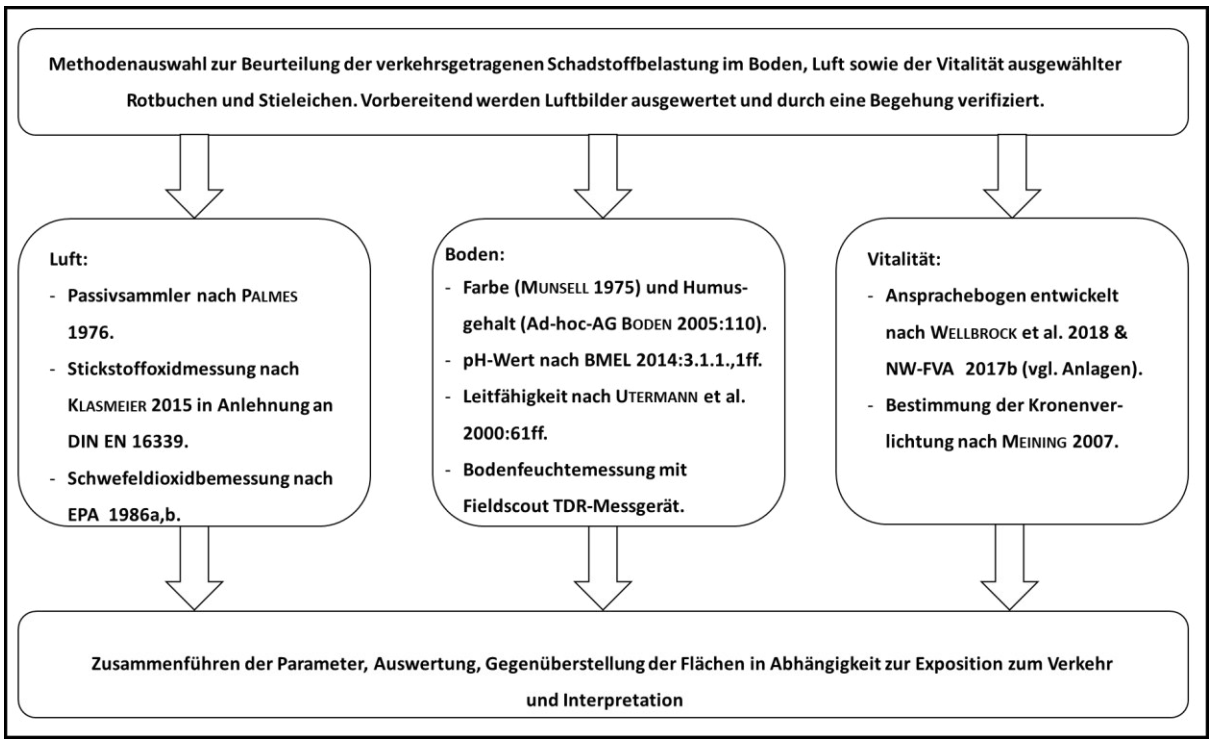

Abb. 2: Übersicht der Methodenauswahl.

Die **NO_x und SO_2** wurden aufgrund der hauptsächlich anthropogen verursachten Immissionsschäden von SO2 in der Vergangenheit und den aktuell diskutierten Belastungen der NO_x-Verbindungen (NO_x = NO + NO_2) als Produkt des steigenden Verkehrsaufkommens ausgewählt (BLIEFERT 2002[3]:172f., NW-FVA 2017a:5). Zur Bemessung der SO_2- und NO_x-Konzentrationen sind eigenkonstruierte Passivsammler nach PALMES et al. (1976:571ff.) verwendet worden (WITTMAR 2019). Die Analyse der Passivsammler beruht auf dem Verfahren der Kolorimetrie nach DIN 16339 (DIN 16339 2013:5). Die SO_2-Bestimmung erfolgte nach UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1986a,b: o.S).

Die **Bodenanalytik** erfolgte im Anschluss an eine Bodenprobenentnahme als Mischprobe nach Ad-hoc-AG BODEN (2005:38f.). Pro Baum wurden hierzu fünf 30 cm tiefe Löcher geöffnet und Bodenmaterial an der Sohle entnommen. Um die Depositionsfolgen von verkehrsgetragenen Schadstoffen im Boden zu ermitteln, wurde pro Baum eine Mischprobe erstellt und der pH-Wert sowie die Leitfähigkeit erhoben. Des Weiteren erfolgte eine Bestimmung des Humusgehalts und der Bodenfeuchte als wuchslimitierende Faktoren.

Die **Vitalität** beschreibt die Lebenskraft eines Baumes und lässt sich als Fähigkeit zur Stoffumwandlung charakterisieren. Der Hauptindikator zur Bestimmung der Vitalität ist der **Kronenverlichtungsgrad**, da

jeder Baum nach einer möglichst geschlossenen Krone und somit einem hohen Grad an Stoffumwandlung bzw. Photosynthese strebt (MEINING 2007:9). Aus dem Kronenverlichtungsgrad ist eine direkte Wirkung von Umweltveränderung (z.B. Bodenversauerung, Klima-, Wasserhaushaltsänderungen) zu erfassen (WELLBROCK et al. 2018:13). Daher ist das Maß der Vitalität eine Messgröße zur Einschätzung zukünftiger Entwicklung und ein Anzeiger von Belastungen (KLUG 2005:o.S. & MEINING 2007:9). Zur Beurteilung der Vitalität wurde ein Aufnahmebogen zur Vitalitätseinschätzung von Waldbäumen nach WELLBROCK et al. (2018:29–49) und NW-FVA (2017b:7f.) entwickelt (vgl. WITTMAR 2019). In Tab. 2 ist die Definition der Schadstufen anhand der Nadel-/Blattverluststufen wiedergegeben. Dabei werden die Stufen 2–4 als deutlich geschädigt zusammengefasst (ELLING et al. 2007:45).

Tab. 2: Schadstufen nach Nadel-/Blattverlust nach BMEL (1995) in ELLING et al. (2007:45).

Schadstufe	Nadel-/Blattverlust in %	Bezeichnung
0	0–10	ohne sichtbare Schadsymptome
1	11–25	schwach geschädigt (Warnstufe)
2	26–60	mittelstark geschädigt
3	61–99	stark geschädigt
4	+ 100	abgestorben

4. Ergebnisse

Die aufgenommenen Messwerte dienen der Gegenüberstellung der Flächen. In Tab. 3 sind alle im Folgenden verwendeten Abkürzungen aufgeführt. Der Humusgehalt lag nach Ad-hoc-AG BODEN (2005: 110f.) und MUNSELL (1975) in allen Flächen zwischen 5und 10 %.

Tab. 3: Übersicht der verwendeten Abkürzungen.

Zeiträume	Nullfläche	Verkehrsberuhigte Fläche	Stark befahrene Fläche	Baumarten
1. Zeitraum 01.06.–29.06.18	N1–3 Stieleiche	W1–5 Stieleiche (1.Reihe)	S1–5 Stieleiche (1.Reihe)	SEi = Stieleiche Bu = Rotbuche
2. Zeitraum 20.07.–17.08.18	N1–3 Rotbuche	W1–5 Rotbuche (1.Reihe)	S1–5 Rotbuche (1.Reihe)	
		X1–5 Stieleiche (2.Reihe)	T1–5 Stieleiche (2.Reihe)	
		X1–4 Rotbuche (2.Reihe)	T1–4 Rotbuche (2.Reihe)	

4.1. Luftmesswerte

In Abb. 3 sind die Ergebnisse der NO_x-Konzentrationen für beide Expositionszeiträume dargestellt. Die Standardabweichung weist für N1 und N3 im ersten Zeitraum eine deutliche Streuung der Einzelergebnisse auf, so dass diese nur eine geminderte Aussagekraft besitzen. Die NO_x-Konzentrationen finden für beide Zeiträume ihr Maximum im Bereich der stark befahrenen Fläche (S2 und S4) und ihr Minimum bei N1. Innerhalb der Zeiträume und der Reihen ist eine signifikante Veränderung der NO_x-Konzentrationen nur im Bereich der stark befahrenen Fläche zu erkennen. Die NO_x-Konzentration fällt zwischen dem ersten Zeitraum und der ersten Reihe im direktem Vergleich zum zweiten Zeitraum und der zweiten Reihe geringer aus. Die ermittelten Werte der stark befahrenen Fläche übersteigen zudem häufig die Werte der anderen Flächen. Als einzige Ausnahme ist hierbei N3 zu nennen, hier übersteigen die NO_x-Konzentrationen die Werte von T2 und T4 im zweiten Zeitraum. Im Bereich der verkehrsberuhigten Fläche ist im ersten Zeitraum die Tendenz erkennbar, dass die NO_x-Konzentrationen zur zweiten Reihe geringer ausfallen.

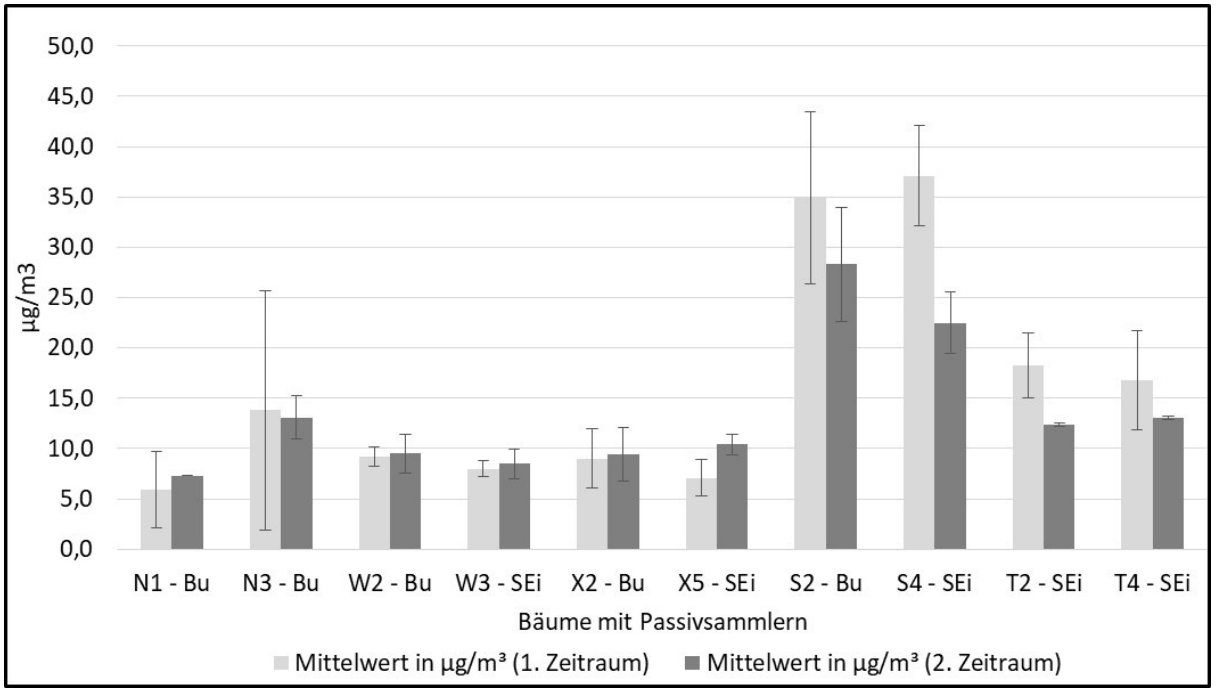

Abb. 3: Kumulierte NO_x-Messwerte in µg/m³ in Bezug auf beide Zeiträume und Flächen (Mittelwerte aus Doppelbestimmungen und Standardabweichungen).

Für den zweiten Zeitraum ist dies nicht zu beobachten und die Konzentrationen nehmen im Gegensatz zur stark befahrenen Fläche und im Vergleich zum ersten Untersuchungszeitraum deutlich zu. Gleiches gilt für die NO_x-Konzentrationen für die Ergebnisse von N1. Auffällig ist, dass die NO_x-Konzentrationen bei N3 die NO_x-Konzentrationen der verkehrsberuhigten Fläche und der genannten Bereiche (zweiter Zeitraum T2 & T4) der stark befahrenen Fläche übersteigen und kein Anstieg der NO_x-Konzentrationen in Verbindung zu der Verkehrsexposition der Flächen festzustellen ist.

4.2. Bodenanalytik

In Abb. 4 sind die gemessene aktuelle Azidität und Austauschazidität dargestellt.

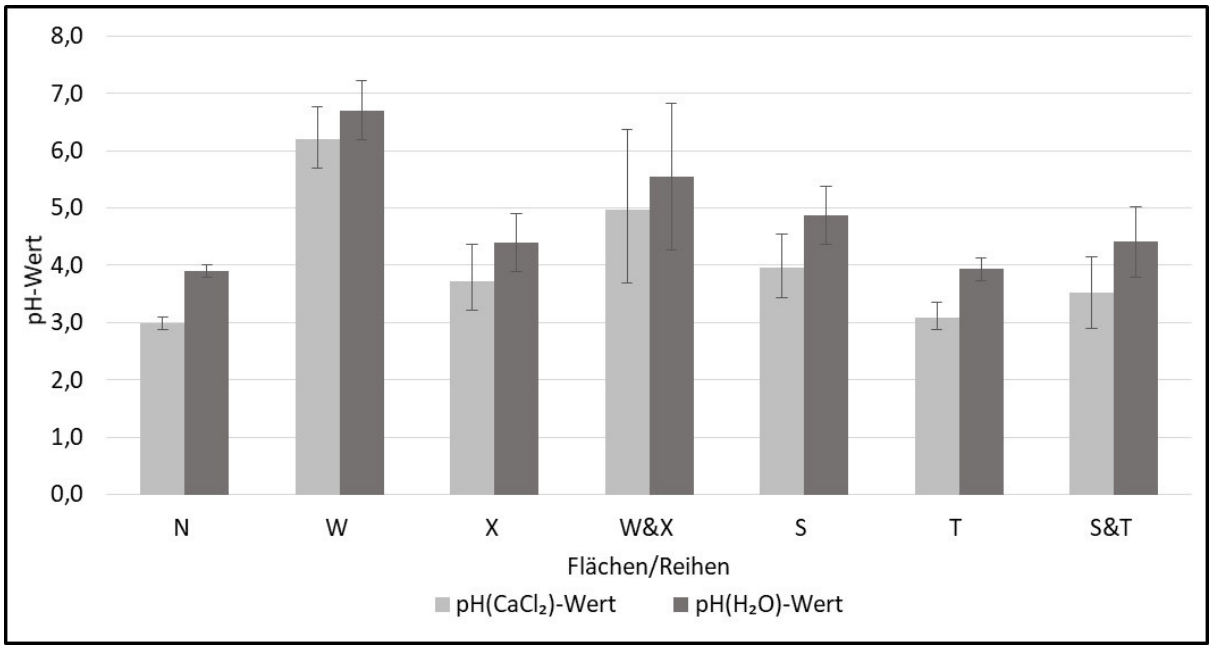

Abb. 4: Boden-pH-Messwerte der einzelnen Reihen/Flächen (Mittelwerte aus Doppelbestimmungen und Standardabweichungen).

Zur Übersichtlichkeit der Darstellung sind die einzelnen Mischproben und Doppelbestimmungen für jede Reihe (W, X, S, und T) gebündelt abgebildet. Zur besseren Vergleichbarkeit mit der Nullfläche (N), sind die zusammengefassten Reihenwerte für Reihen W, X, S, und T nochmals als Flächenangaben in W&X und S&T zusammengefasst dargestellt. Die Standardabweichung weist für die Nullfläche und die einzelnen Reihen (W, X, S und T) eine geringe Varianz auf. Das Maximum beider pH-Werte ist bei W mit 6,2 pH($CaCl_2$) und 6,7 pH(H_2O) (neutral) festzustellen. In der Fläche N ist das Minimum beider pH-Werte mit 3,0 pH($CaCl_2$) und 3,9 pH(H_2O) (stark sauer) dokumentiert.

In Abb. 5 sind die gemessenen Boden-Leitfähigkeiten dargestellt.

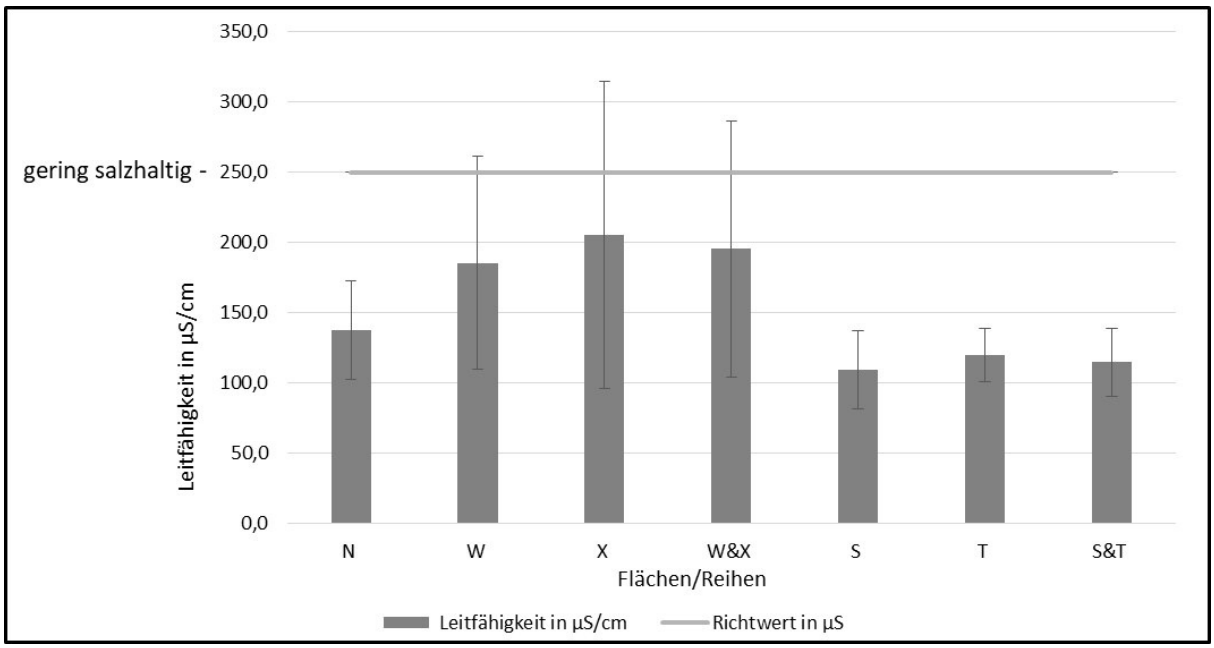

Abb. 5: Boden-Leitfähigkeit der Flächen (Mittelwerte aus Doppelbestimmungen und Standardabweichungen sowie Richtwert nach UTERMANN 2000:104).

Zur Einordnung der Leitfähigkeit ist aus UTERMANN 2000:104 der Richtwert „gering salzhaltig“ ergänzt. Die weiteren Richtwerte liegen weit über dem Wertebereich der Ergebnisse und sind daher nicht aufgeführt. Die berechnete Standardabweichung gibt für die Reihen W und X eine hohe Streuung der einzelnen Messergebnisse an. Demnach sind einzelne Bodenmischproben der Reihen W und X im gering salzhaltigen Bereich anzusiedeln (W1-Bu, W2-Bu und X3-SEi, X2-Bu, X3-Bu). Die verkehrsberuhigte Fläche kennzeichnet die höchste durchschnittliche Leitfähigkeit mit 195,5 µS/cm bzw. in Reihe X mit 205,4 µS/cm. Die geringste berechnete Standardabweichung und Leitfähigkeit ist für die Reihen S (109,8 µS/cm) und T (119,8 µS/cm) bemessen. Hieraus ergibt sich, dass die durchschnittliche Leitfähigkeit der Fläche S&T um 22,8 µS/cm unter den Leitfähigkeitswerten der Fläche N liegt.

In Abb. 6 sind die gemessenen Bodenfeuchtegehalte dargestellt. Die Trendlinien dienen zur Visualisierung der Messergebnisse und zeigen jeweils eine Abnahme der Bodenfeuchtewerte über die Flächen von N über W&X zu S&T an. Sowohl die Werte als auch die Trendlinie sind über die erste Messperiode signifikanter ausgeprägt bzw. fallen stärker ab als in der zweiten Messperiode. Die Messergebnisse korrelieren zwar für die einzelnen Reihen/Flächen zu den zwei Zeitpunkten, bewegen sich jedoch zum zweiten Zeitpunkt nur noch im 2 % Bereich und fallen somit im Hinblick auf den ersten Zeitpunkt insgesamt niedriger aus. Die Standardabweichungen fallen für die Werte des ersten Zeitpunktes, besonders bei N, W und S und dementsprechend bei W&X und S&T, erhöht aus. Daraus geht hervor, dass Teilmesswerte dem zweiten Zeitpunkt entsprechen bzw. ähnlich niedrig ausfallen.

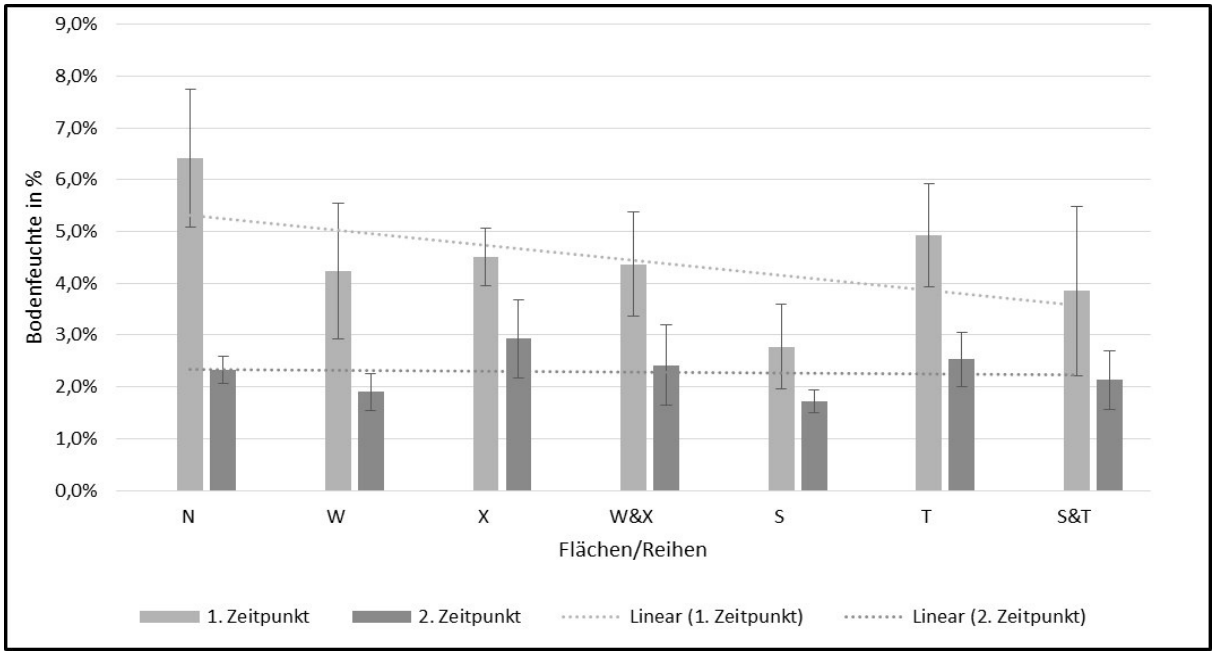

Abb. 6: Bodenfeuchtemessung (Mittelwerte aus Doppelbestimmungen und Standardabweichungen sowie Trendlinien).

Die Varianz an Messwerten ist für den zweiten Zeitpunkt geringer ausgefallen. Reihe X weist zwar nicht die höchsten aber die konstantesten Feuchtigkeitswerte über beide Zeitpunkte hinweg auf. Das Maximum der Bodenfeuchtemessung wird im ersten Zeitraum in der Fläche N mit 6,4 % und das Minimum mit 2,8 % bei Reihe S erreicht. Die Reihe S weist mit 1,7 % auch zum zweiten Messzeitpunkt den geringsten Wert der Bodenfeuchtemessung auf. Das Maximum der Bodenfeuchte ist nicht mehr in der Fläche N (2,3 %), sondern in Reihe X (2,9 %) erkennbar.

4.3. Vitalität

In Abb. 7 sind die gemessenen Vitalitätswerte nach Blattverlustangaben sowie die Einteilung in Schadstufen dargestellt.

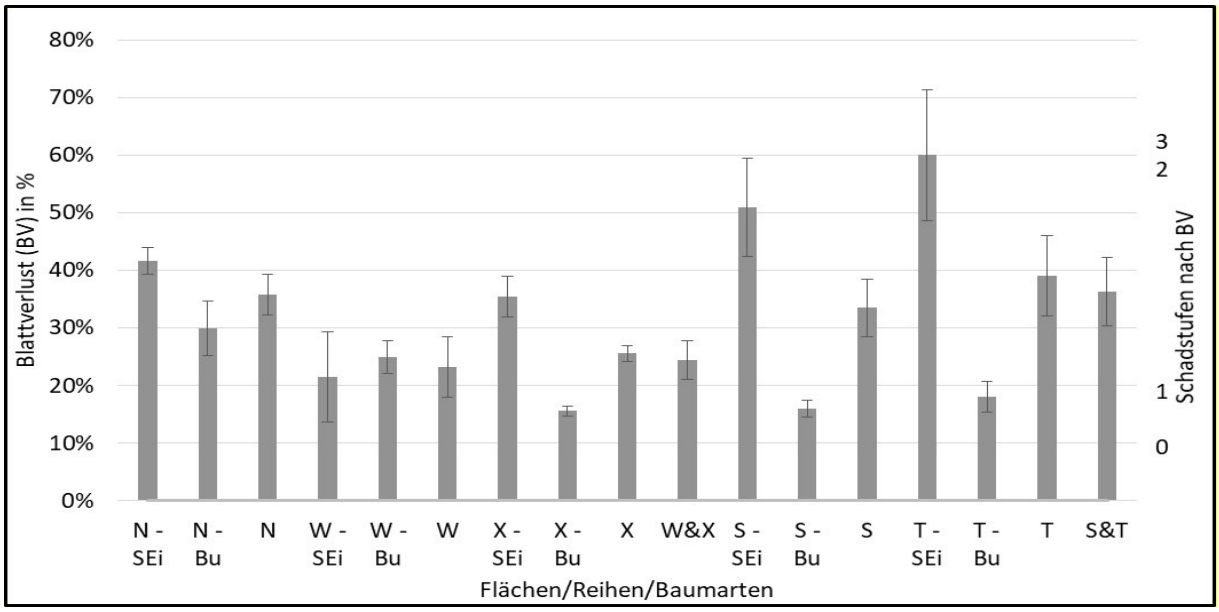

Abb. 7: Vitalitätsmesswerte nach Blattverlustangaben (Mittelwerte aus Doppelbestimmungen und Standardabweichungen) und Einteilung in Schadstufen (nach Tab. 5 nach BMEL (1995), in ELLING et al. (2007:45)).

In Abb. 7 sind auf der rechten Y-Achse die Schadstufen nach Blattverlust (BV) aus der Tab. 5 nach BMEL (1995) in ELLING et al. (2007:45) dargestellt. Aus diesem Grund beziehen sich die prozentualen Vitalitätswerte lediglich auf die Blattverlustwerte. Auf der X-Achse sind für beide Zeiträume die Arten SEi und Bu und folglich auch die Reihen wie Flächen dargestellt. Das Maximum an Vitalitätseinbußen ist bei T-SEi (60 %), gefolgt von S-SEi (51 %) zu verzeichnen. Dabei erreicht T-SEi die dritte Schadstufe nach BMEL (1995) in ELLING et al. (2007:45). Weiterhin ist zu konstatieren, dass kein Wert unter der Schadstufe 0 nach BMEL (1995) in ELLING et al. (2007:45) bleibt und alle Bäume als schwach geschädigt gelten. Außer die Werte X-Bu, S-Bu, T-Bu sowie Einzelwerte von W-SEi und W-Bu, fallen alle anderen Vitalitätsergebnisse in die zweite Schadstufenkategorie nach BMEL (1995) in ELLING et al. (2007:45). Wird von den erhöhten Standardabweichung bei W-SEi abgesehen, ist festzuhalten, dass außer bei W-SEi und W-Bu, die Vitalitätswerte der SEi die der Bu kontinuierlich übersteigen. Ein linearer Verlauf der Schadentwicklung ist über die Flächen N, W&X zu S&T nicht festzustellen. Die Fläche W&X weist mit 24 % die geringsten Vitalitätswerte auf und zeigt keinen signifikanten Abfall der Vitalitätswerte von der Reihe W (23 %) zur Reihe X (26 %) an. Somit ist festzustellen, dass die Vitalitätswerte der Fläche N (36 %) die Vitalitätswerte der W&X (24 %) Fläche übersteigen und innerhalb der Fläche S&T die höchste Varianz (Ø 38,5 %) zwischen den Baumarten SEi und Bu zu identifizieren ist. Eine Verringerung der Vitalitätswerte von der Reihe S zur Reihe T ist, ähnlich wie zwischen den Reihen W und X, nicht gegeben.

5. Diskussion

Als ein offenes Ökosystem bedingt die Eilenriede einen Austausch von Energie, Wasser und Stoffen mit ihrer Umgebung. Daraus resultiert eine Senken- bzw. Schutzfunktion vor Wind, Lärm, Luftverschmutzungen und Hitze für die Anwohner*innen in der näheren Umgebung des Stadtwaldes. Gleichen sich die Stoffeinträge und -austräge, ist ein stabiles Ökosystem gegeben. Kommt es jedoch dazu, dass die Eilenriede einem beständig hohen Zufluss der geschilderten Stoffeinträgen ausgesetzt ist, kann das Ökosystem Eilenriede diese nur temporär abpuffern. Sind die Pufferkapazitäten überschritten und keine Regenerationsphasen mehr gegeben, kommt es zu einer Verschlechterung des ökosystemaren Zustands (DUTTMANN 1985:5). Insbesondere die atmosphärischen Einträge aus den bemessenen NO_x-Emissionen wirken direkt über die trockene Deposition oder als Umwandlungsprodukt über die nasse und feuchte Deposition auf die Eilenriede ein. Der Pfad der direkten Deposition ist das Eindringen der NO_x-Verbindungen über die Stomata in das Blattinnere. Das Schadkontinuum umfasst eine Veränderung der Blattmembranen, die Verringerung der Permeabilität und eine Beeinträchtigung des Regulierungsmechanismus der Stomatabewegung. Infolgedessen gestalten sich diese Wirkungen durch die Herabsetzung der pflanzlichen Resistenz gegenüber klimatischen Stresssituationen besonders problematisch (DUTTMANN 1985:130). Als Folge der indirekten Deposition ist hauptsächlich die Absenkung der Bodenazidität festzustellen (SCHIMMING 2011:272f.).

Inwieweit eine Verschlechterung des Ökosystemzustands eingetreten ist, soll anhand der eingangs formulierten Zielsetzungen validiert werden. Zur Identifizierung der Wirkung der NO_x-Emissionen werden die obigen Ergebnisse in den folgenden Abbildungen zusammengeführt dargestellt.

5.1. NO_x und Vitalität

Abb. 8 zeigt die NO_x- und Vitalitätswerte über die zwei Zeiträume der Messkampagne. Vergleicht man die Zeiträume miteinander, ist ein ähnliches Muster in der Abfolge der Messwerte zu erkennen. Es wird deutlich, dass die aufgenommenen Messergebnisse keine Zufallsergebnisse darstellen. Es ergeben sich jedoch zwei wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Zeiträumen. Die NO_x-Werte fallen im zweiten Zeitraum im Bereich der Reihen S, T sowie der Fläche S&T um 7,7 µg/m^3 geringer aus. Die Vitalitätswerte erhöhen sich hingegen für alle Reihen/Flächen außer für X-Bu im zweiten Zeitraum.

Darüber hinaus ist eine geringfügige Zunahme der NO_x-Werte um 1 µg/m³ für die Fläche W&X festzustellen.

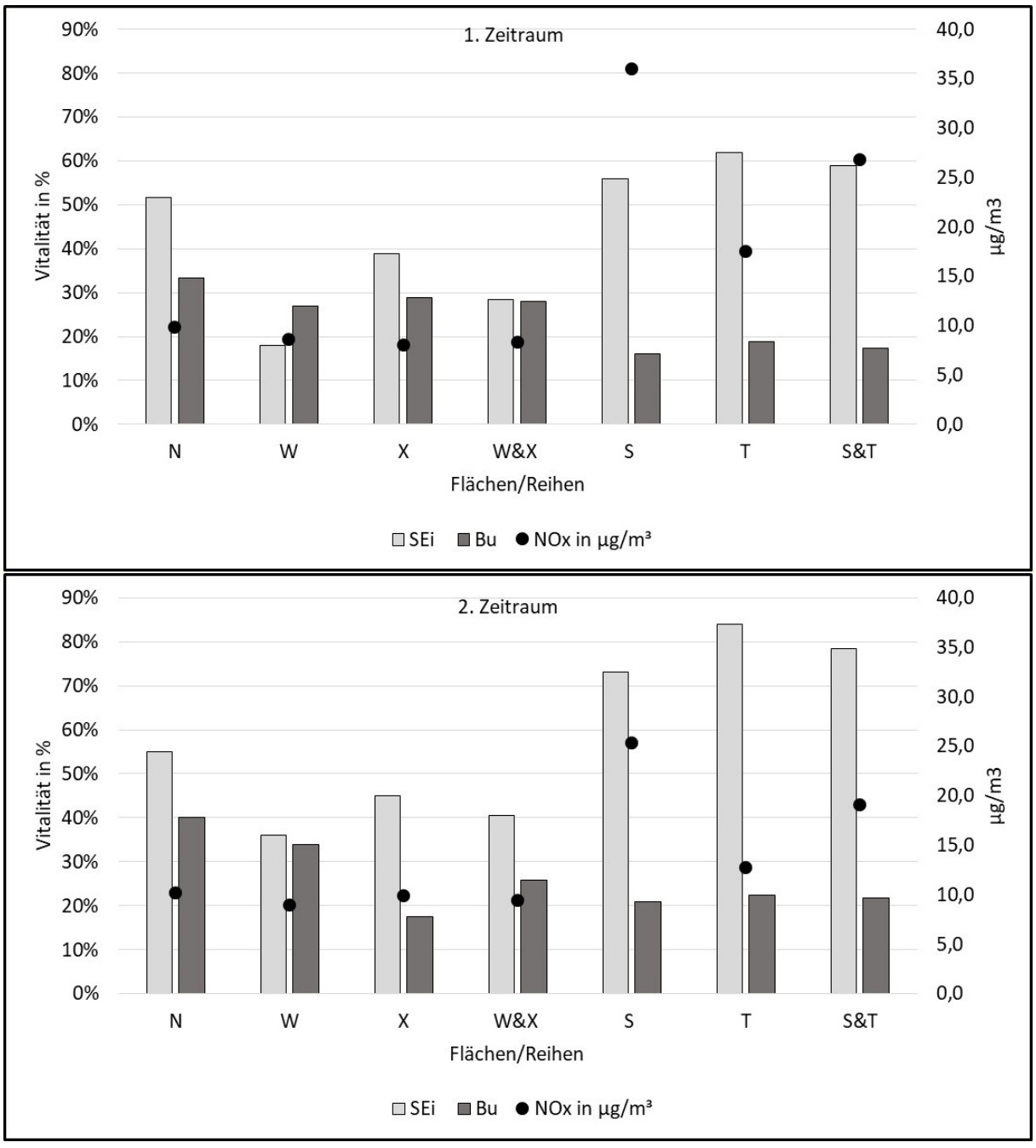

Abb. 8: NO_x und Vitalität in Abhängigkeit der Expositionszeiten.

Diese geringfügige Steigerung und das Absinken der NO_x-Werte fallen zusammen mit dem Beginn der schulischen Sommerferien in Niedersachsen (SCHULFERIEN.ORG 2018:o.S.). In diesen Zusammenhang sind die Veränderungen der NO_x-Werte zu stellen. Die marginale Erhöhung der NO_x-Werte in der Fläche W&X ist entweder auf das veränderte Freizeitverhalten und die vermehrte Nutzung der anliegenden Kleingartenkolonie, oder auf die nicht gegebene methodische Exaktheit zurückzuführen. Die deutlicher ausfallenden Unterschiede der NO_x-Werte im Bereich der Fläche S&T stehen in Abhängigkeit zur Verkehrsintensität. Als dominierendes Arbeitsmarktzentrum ist die Stadt Hannover mit einem steten Wachstum der Pendlerströme gekennzeichnet. Insgesamt kommt die Stadt Hannover auf 145.115 Ein- und Auspendler (REGION HANNOVER 2015:15). Darüber hinaus hat die ganze Region Hannover eine Steigerung der Verflechtungsintensität erfahren. Eine zentrale Ein- und Ausfallstraße stellt die B3 dar,

die in direkter Nähe zur Fläche S&T steht, und den Zyklen der Pendlerströme unterworfen ist. Die Abnahme der NO_x-Werte im zweiten Messzeitraum ist durch ein verändertes Verkehrsverhalten innerhalb der Schulferien naheliegend (REGION HANNOVER 2015:2 & 14ff.).

Zur Einordnung der gemessenen NO_x-Werte dient die 39. Verordnung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. In dieser ist der Grenzwert als durchschnittlicher Jahreswert pro Tag mit 40 µg/m³ für den Menschen und mit 30 µg/m³ als kritischer Wert für die Vegetation definiert (LÜN 2018:19). Die gemessenen Ergebnisse unterliegen zwar nicht den gesetzlich vorgegeben Jahresdurchschnittswerten und wurden nicht nach den Maßgaben des Gesetzgebers validiert, liefern aber dennoch Hinweise auf eine Belastung der Gebiete je nach Verkehrsexposition. Eine Grenzwertüberschreitung in Bezug auf den Menschen ist nicht gegeben. Indes ist eine Grenzwertüberschreitung für den kritischen Wert der Vegetation von 6 µg/m³ für die Reihe S im ersten Zeitraum festzustellen (LÜN 2018:19). Im Vergleich zu den grenzüberschreitenden NO_x-Werten sind die Vitalitätswerte der SEi in der Fläche S&T mit 59 % im ersten Zeitraum und 79 % im zweiten Zeitraum am höchsten. Mit diesem erhöhten Vitalitätsmaß fallen die Bäume in die Schadstufe 2 und 3 und gelten somit als mittel bis stark geschädigt. Die Vitalitätswerte der SEi, insbesondere der Reihe S, unterstreichen die aufgenommenen Werte der NO_x-Messung und zeigen eine bedenkliche Entwicklung des Ökosystemzustands an. In Abb. 8 werden Vitalitätsdaten verwendet, die sich aus allen aufgenommenen Schadwerten ergeben und somit von den Formalien der Kategorisierung in Tabelle 3 abweichen. Jedoch spiegeln auch die Werte in den Ergebnissen einen mittel bis stark geschädigten Stieleichenbestand der Fläche S&T wider. Zudem dient die zusätzliche Aufnahme von Schadparametern in Abb. 8 der Ergebnisabsicherung und ist in ROLOFF (2001:39f.) empfohlen. Die ausschließliche Beurteilung mittels Blattverlustangaben ist beispielsweise durch eine höhere Trieblänge und folglich eine höhere Blätterverteilung im Raum fehlerhaft. Ebenso kann eine intensive Belaubung in der peripheren Krone eine dichte Krone und somit eine geringe Vitalität vortäuschen, obgleich die innere Krone ggf. kaum beblättert ist. So kann es zu Fehleinschätzungen hinsichtlich der Vitalitätsbewertung kommen. Es empfiehlt sich daher bei eingehenden Untersuchungen weitere Parameter zu beachten (ROLOFF 2001:40f.).

In beiden Zeitraumbetrachtungen wird deutlich, dass die Vitalitätswerte der SEi, bis auf eine Ausnahme im ersten Zeitraum (W), die Vitalitätswerte der Bu übersteigen, obwohl beide Baumarten als weniger empfindlich gegenüber NO_x-Belastungen eingestuft sind (VDI 1978:Blatt 5). Eine ausschließliche Abhängigkeit zwischen Vitalität und NO_x-Belastungen ist damit nicht gegeben. Zudem ist der höhere Schädigungsgrad der Untersuchungsbäume in der Nullfläche gegenüber der Fläche W&X gegensätzlich zu der Annahme, dass die NO_x-Belastungen der maßgebliche Einflussfaktor für die Vitalität sind. Dennoch ist die Erhöhung der NO_x-Belastungen mit der Steigerung der Vitalitätswerte im Bereich der Fläche S&T als ein zusätzlicher Stressor zu identifizieren.

5.2. Alter und Vitalität

In Abb. 9 ist der Zusammenhang von Vitalität und Brusthöhendurchmesser (BHD) über den gesamten Zeitraum dargestellt.

Es lässt sich eindeutig der erhöhte Schädigungsgrad der Nullfläche ableiten. Der Brusthöhendurchmesser (BHD) liegt mit durchschnittlich 75 cm für die sechs Untersuchungsbäume der Nullfläche am höchsten. Das sekundäre Dickenwachstum des Baumes ist ein Indiz für das Alter des Baumes. Limitierende Faktoren können das sekundäre Dickenwachstum zwar deutlich verringern, aber durch die vergleichbaren Standortbedingungen der Untersuchungsflächen ist ein vergleichender Rückschluss mittels des BHD auf das Baumalter möglich. So ergibt sich für die Untersuchungsbäume der Fläche N ein allgemein erhöhtes Baumalter und eine damit verbundene, natürliche Vitalitätsminderung im Gegensatz zu den weiteren Flächen (ROLOFF 2001:54). Generell ist Abb. 9 zu entnehmen, dass die jüngsten Untersuchungsbäume der Fläche W&X die geringsten Vitalitätswerte aufweisen.

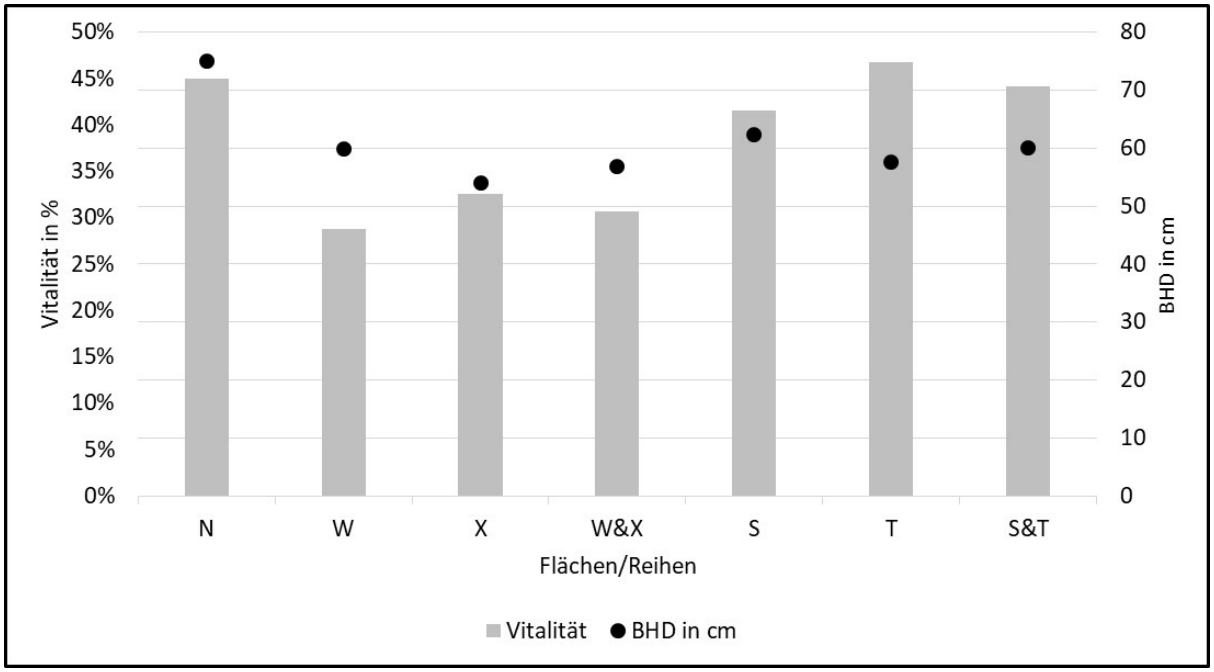

Abb. 9: Vitalität und Brusthöhendurchmesser (BHD) über den gesamten Zeitraum.

Der durchschnittlichen BHD-Berechnungsabstand zwischen den Flächen W&X und S&T lässt mit nur 3 cm Unterschied keine signifikante Erhöhung der durchschnittlichen Vitalitätswerte für die Fläche S&T zu. Das Vitalitätsmaß erhöht sich jedoch und korrespondiert mit der Erhöhung der NO_x-Werte.

5.3. Vitalität und Bodenfeuchte

In Abb. 10 sind die Bodenfeuchtewerte aus Abb. 6 mit den Vitalitätswerten der drei Flächen gebündelt visualisiert.

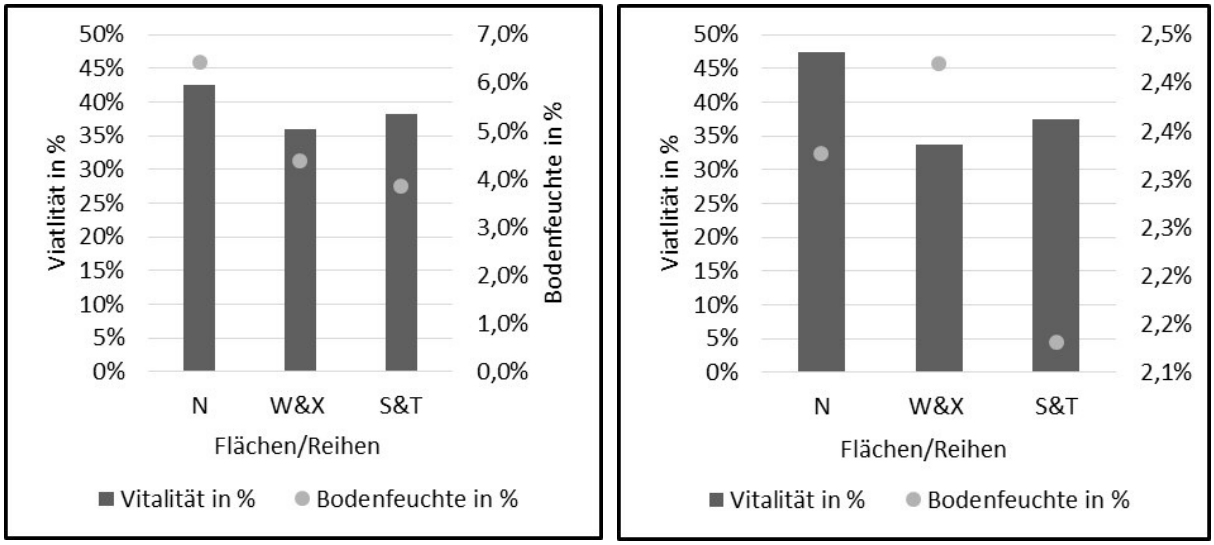

Abb. 10: Vitalität und Bodenfeuchte über die Expositionszeiten (links: 1. Zeitraum, rechts: 2. Zeitraum.

Aus den Trendlinien in Abb. 6 geht ein Absinken der Bodenfeuchtewerte von N über W&X zu S&T in beiden Zeiträumen hervor. In Abb. 10 ist der gleiche Trend zu erkennen, da die punktuellen Datensätze für beide Zeiträume ein ähnliches Bild der Bodenfeuchtewerte zeichnen. Es ist jedoch festzustellen, dass die Bodenfeuchtewerte im zweiten Zeitraum bei W&X ihr Maximum finden. Der vorherrschende Bodentyp des Pseudogleys bedingt durch seine erhöhte Wasserhaltekraft auch in trockeneren Phasen

eine bessere Versorgung mit Wasser und korreliert mit den geringen Vitalitätswerten und den beständigeren Bodenfeuchtewerten der Fläche W&X (REHFUESS 1990:93f.). Trotz alledem ist im temporären Vergleich beider Untersuchungszeiträume zu beobachten, dass die Bodenfeuchtewerte im zweiten Zeitraum in allen Flächen abgesunken sind.

Aus den Wetterdaten, die in Tab. 1 aufgeführt sind, ist für den Zeitraum der Bemessung ein durchschnittlicher Niederschlagswert von 47 mm und ein gleichzeitiger Temperaturanstieg von 1,9 °C von Juni zu August hinterlegt. Über den Referenzzeitraum von 1981 bis 2010 ist für Niedersachsen im Untersuchungszeitraum indes ein durchschnittlicher Niederschlagswert von 74,1 mm bemessen (DWD o.J.). In diesen Zusammenhang ist die Hydrologie der Eilenriede zu stellen. Wie oben erläutert, ist die Eilenriede vom Grundwasserzufluss aus südöstlicher Richtung des Kronsberg abhängig. Der Pegel des Grundwasserstroms wird durch lokale Niederschlagsverhältnisse stark beeinflusst und sinkt bei unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen ab. Dieses Abhängigkeitsverhältnis wurde von DUTTMANN (1985:38ff.) bei der Untersuchung der Grundwasserganglinien festgestellt. Mit der Abnahme der Bodenfeuchte sowie den unterdurchschnittlichen Niederschlagswerten ist von einer Abnahme des Grundwasserspiegels auszugehen. Die gleichzeitige Temperaturzunahme trägt zur Verstärkung des Wassermangels und folglich zur Nährstoffunterversorgung der Vegetation in der Eilenriede bei (LARCHER 1994:140f.). Unter diesen Bedingungen sind die deutlich erhöhten Vitalitätswerte der SEi zu betrachten. Als feuchtigkeits- und nährstoffliebende Art findet die SEi im Gegensatz zur Bu keine idealen Standortbedingungen mehr vor (ROLOFF 2001:105).

5.4. NO_x, Vitalität und Bodenfeuchte

Abb. 11 stellt die Parameter Bodenfeuchte, NO_x und Vitalität in einen Zusammenhang. Es wird deutlich, wie sich die Stressoren des Wassermangels und angestiegenen NO_x-Werte in erhöhten Vitalitätswerten der Untersuchungsbäume widerspiegeln. In beiden Untersuchungszeiträumen ist zu erkennen, dass die Fläche S&T gegenüber der Fläche W&X die geringsten Bodenfeuchtewerte bei gleichzeitig dreifach erhöhten NO_x-Belastungen im ersten sowie zweifach erhöhten NO_x-Belastungen im zweiten Zeitraum aufweist. Bedingt durch die Wasserknappheit und den zusätzlichen Stressor NO_x, weist die Fläche S&T die höchsten Vitalitätswerte und somit die am stärksten geschädigten Bäume nach der Fläche N auf. Die Fläche N ist indes durch den ältesten Baumbestand gekennzeichnet und somit mit natürlich hohen Vitalitätswerten ausgestattet. Eine Limitierung seitens geringen Bodenfeuchtewerten und einer relativ hohen NO_x-Belastung, die nicht aus den Untersuchungen zu erklären sind, ist nicht ausgeschlossen. Dennoch ist die Referenzfläche N mit Vorsicht mit den anderen Flächen zu vergleichen, da die verwendeten Karten in Kapitel 3 immer einer gewissen Generalisierung unterliegen und der Bestand nicht gleichmäßig mit ca. 100 jährigen Eichenbeständen ausgestattet ist.

Zudem ist festzuhalten, dass bei der hohen vorliegenden Belastung der Fläche S&T ein Filtereffekt zwischen der fahrbahnnah gelegenen Reihe S und der zweiten Reihe T zu verifizieren ist. Es erfolgt eine Abnahme der NO_x-Werte um 50 %. In der Fläche W&X ist zwischen der Reihe W und Reihe X kein deutlicher Unterschied zu erkennen. Eine mögliche Erklärung ist darin zu sehen, dass der hinter der Reihe W verlaufende Wanderweg durch fehlenden Bewuchs den Filtereffekt verringert. Zudem wird in Kapitel 4 auf die Messungenauigkeiten der Passivsammler hingewiesen, sodass ein möglicher Filtereffekt zu geringfügig ist, um ihn zu erfassen (DIN 16339 2013:4 & 5ff.).

In Betrachtung der Abb. 11 sind die Vitalitätswerte der Reihe T, obgleich diese weniger stark verkehrsexponiert ausgerichtet sind, höher als die der Reihe S. Hierfür können mehrere Faktoren verantwortlich sein. Eine mögliche Erklärung ist die intensive Sonneneinstrahlung in der Reihe T. Innerhalb der Begehung konnte die Entnahme einiger Bäume vor der Reihe T festgestellt werden, wodurch Teile der Untersuchungsbäume freigestellt wurden. Das Freistellen der zuvor im Bestand geschützten Bäume hat zur Folge, dass die direkt einwirkende UV-Strahlung zu einer zusätzlichen Schädigung der Bäume führt (ELLING et al. 2007:95f.).

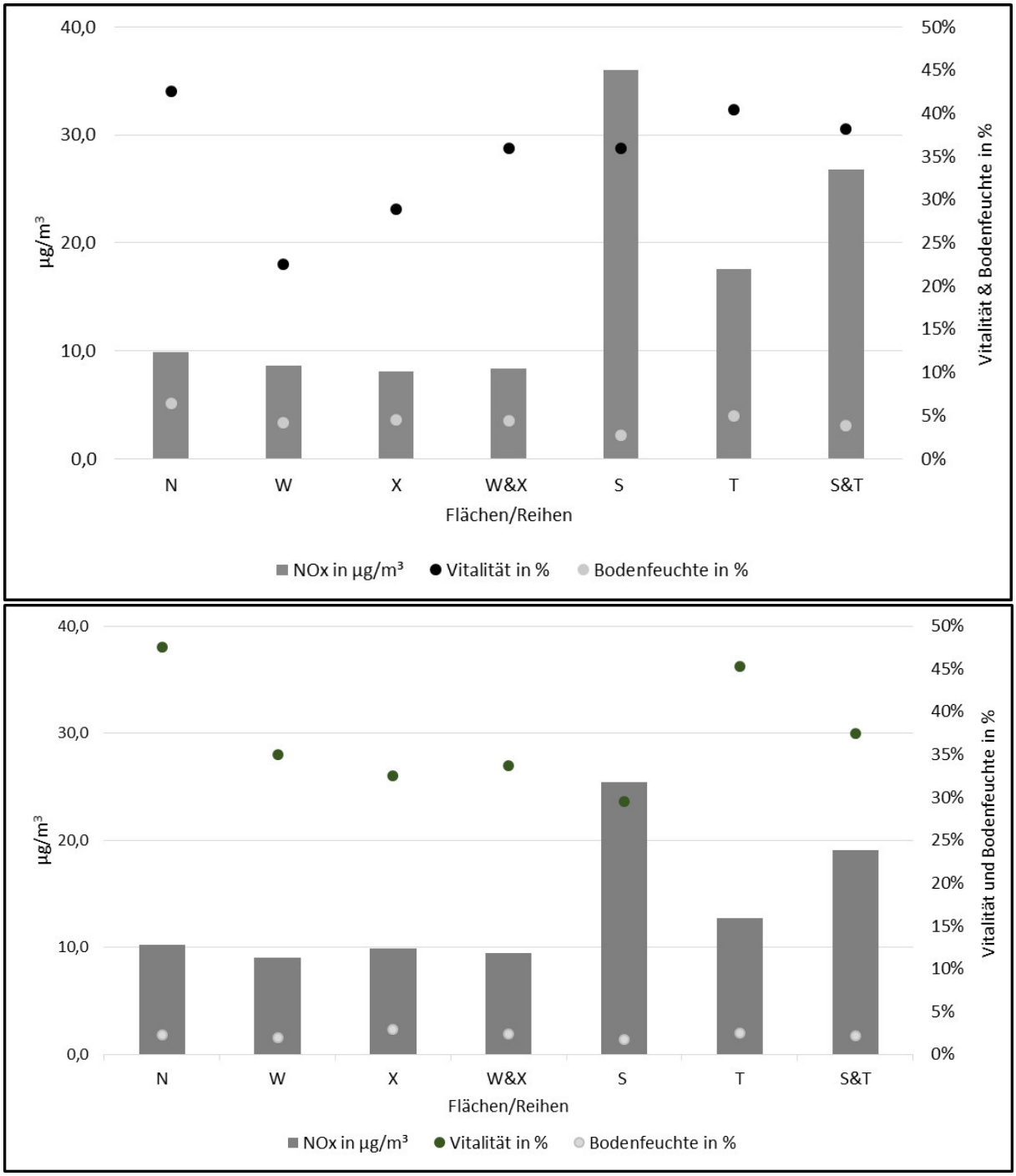

Abb. 11: NO_x, Vitalität und Bodenfeuchte über die Expositionszeiten (oben: 1. Zeitraum, unten: 2. Zeitraum).

Gleichwohl kann bei der Ansprache der Untersuchungsbäume eine Verfälschung der Werte aufgetreten sein, da den Kronen der Reihe W und S mehr Raum zur Verfügung steht als der Reihe X und T, welche im geschlossenen Bestand einen minder vitalen Eindruck hinterlassen können. Berücksichtig werden muss, dass hier bisher nicht alle Methoden aus Abb. 9 sowie alle Ergebnisse in das Wirkungsgefüge mit eingebunden worden sind.

5.5. pH-Werte, Luft und Leitfähigkeit

In Abb. 12 sind die pH-Werte ($CaCl_2$), NO_x und Leitfähigkeit über die gesamte Expositionszeit dargestellt.

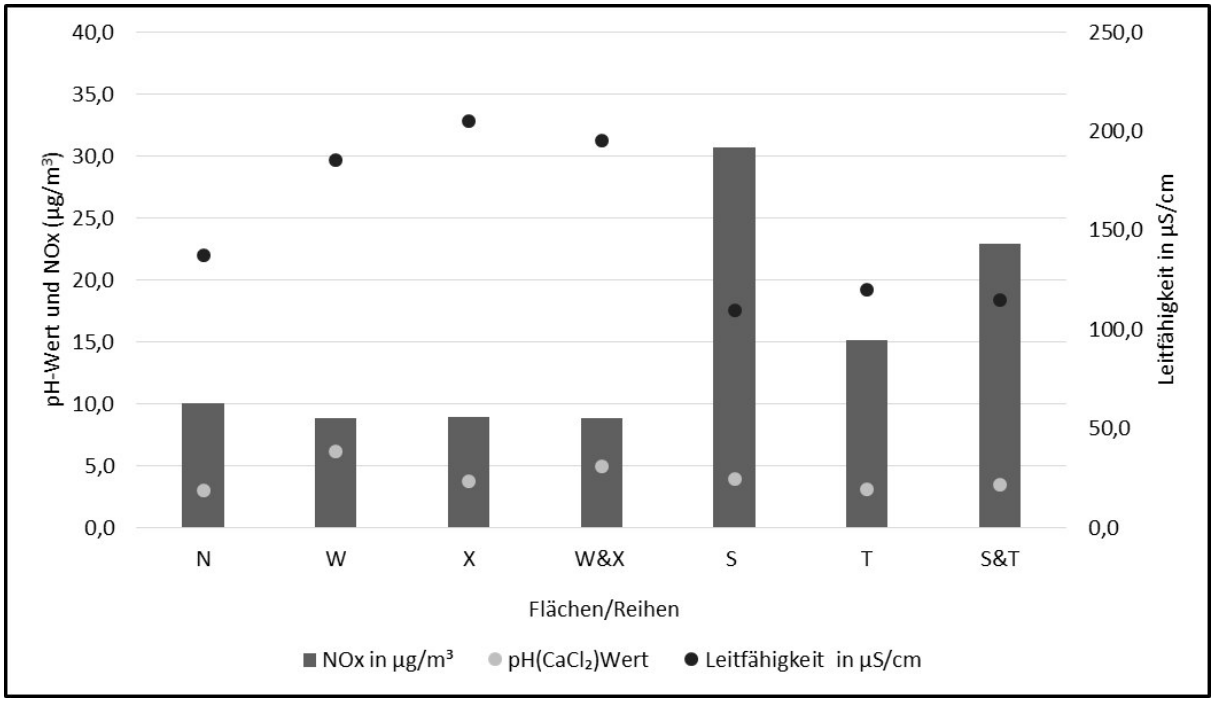

Abb. 12: pH-Wert ($CaCl_2$), NO_x und Leitfähigkeit über die gesamte Expositionszeit.

Für die Flächen W&X liegen die pH-Werte im leicht sauren Bereich. Dementsprechend konnte eine verhältnismäßig hohe Leitfähigkeit bemessen werden. Gleichzeitig fallen die NO_x-Belastungen in der Fläche gering aus, sodass von einer Abnahme der Leitfähigkeit oder einem Wandel der pH-Werte in den sauren Bereich nicht auszugehen ist. Entsprechend des Bodentyps weist die Fläche W&X gegenüber den anderen Flächen die günstigsten Standortbedingungen auf. Obwohl in der Fläche N stark saure pH-Werte bemessen wurden, ist die durchschnittliche Leitfähigkeit um 22,8 µS/cm höher als in der Fläche S&T. Lohnenswert ist eine genauere Betrachtung der Leitfähigkeits-, pH- und NO_x-Werte der Fläche S&T. Die Leitfähigkeit fällt im Bereich der Fläche S&T am geringsten und die Differenz der pH-Werte am höchsten aus. Zurückzuführen ist die Abnahme der Leitfähigkeit, die ein Ausdruck für die Höhe des Nährstoffanteils im Boden ist, auf den historischen aber auch aktuellen Prozess der zunehmenden Versauerung, der durch den erhöhten NO_x-Eintrag noch verstärkt wird (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010:154). Anhand des Bodentyps Podsol ist eine historische Versauerung belegt und aus dem aktuell ablaufenden Prozess der zunehmenden Versauerung eine weitere Qualitätsabnahme der Fläche zu erwarten. Hierzu trägt sowohl der natürlich getragene Prozess der Versauerung durch die Herauslösung von Nährstoffen mittels H^+-Ionenabgabe der Pflanzenwurzeln zur Absorption von Nährstoffen als auch die größtenteils aus Sanden bestehende Geologie bei (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010:155). Es ist davon auszugehen, dass der erhöhte Eintrag an NO_x und die daraus resultierenden Umwandlungsprodukte die ablaufenden Bodenprozesse steigern.

Demnach lassen sich eine erhöhte NO_x-Belastung und ein erhöhtes Vitalitätsmaß auf die Exposition zum Verkehr zurückführen. Das NO_x trägt dazu bei, die Resilienz der Bäume gegenüber anderen Umwelteinflüssen herabzusetzen und es ist davon auszugehen, dass die verstärkte NO_x-Belastung der Fläche S&T zu einer direkten Beeinflussung und Verschlechterung der Standortbedingungen führt. Anhand der festgestellten NO_x-Belastungen und der geminderten Standortbedingungen ist ebenso ein Rückschluss auf die Filter- und Senkenfunktion im Bereich der Fläche S&T möglich. Im Schnitt werden die NO_x-Belastungen in der Luft, ausgehend von der Reihe S zur Reihe T, um 50 % reduziert und über verschiedene Pfade in den Boden eingetragen. Identifizierbar ist dieser Prozess über die aktuell ablaufende Bodenversauerung und der geringer ausfallenden Leitfähigkeit in der Fläche S&T. Eine einseitige Reduzierung auf den Zusammenhang von NO_x zu den festgestellten Vitalitätswerten ist indes nicht

zielführend. Vielmehr muss die entscheidende Rolle des Bodenwasserhaushalts in der Eilenriede miteinbezogen werden. Bedingt durch den sehr trockenen und warmen Sommer 2018 ist zu vermuten, dass die ausbleibenden Niederschläge zu einem Abfall des Grundwasserspiegels geführt und eine Wasserunterversorgung ausgelöst haben. Das NO_x ist hierbei als zusätzlicher Stressor und Katalysator auszumachen. Besonders stark betrifft diese Entwicklung die Stieleichenbestände, die durch die Trockenheit und die Abnahme der Nährstoffversorgung deutlich geschwächt sind. Zusätzliche Stressoren, wie die NO_x-Immissionen, stufen die Resilienz der SEi weiter herab und verursachen in Kombination mit den geänderten Standortbedingungen die hohen Vitalitätswerte. Die Bu zeigt in den Untersuchungen ein höheres Maß an Toleranz (vgl. Abb. 7). In Betrachtung der großräumigen, anthropogen bedingten Schadstoffeinträge aus dem Individualverkehr und anderen Sektoren, wie beispielsweise der Industrie, ist ein Zusammenhang mit den zunehmenden Extremwetterlagen und Trockenperioden herzustellen. Dieses Wirkungsgefüge sollte Inhalt weiterer Studien sein.

6. Handlungsempfehlungen

Als Fazit der vorigen Diskussionen lassen sich drei Handlungsempfehlungen ableiten.

Die erste Empfehlung nimmt die wallbaulichen Strukturen in den Fokus. Die **Einbringung von autochthonen sowie standortgerechten Arten mit einem strauchigen Aufwuchs**, wie beispielsweise Feldahorn (*Acer campestre*) oder Eibe (*Taxus baccata*), kann die Oberfläche und folglich die Filterfunktion der ersten Reihe erhöhen (ELLENBERG 2001:77 & 146). Neben diesem Heckeneffekt führt die sukzessive Reduzierung von anfälligen Bäumen in direkter Straßennähe als Nebeneffekt zu einer Reduzierung der Verkehrssicherheitsmaßnahmen. Eine Anpassung der Vegetation ist nicht nur in ihrer Struktur, sondern auch hinsichtlich der geänderten Standortbedingungen ratsam. Beispielsweise kann durch den sukzessiven Austausch der Stieleiche in den trocken ausgeprägten Bereichen der Eilenriede durch die Traubeneiche (*Quercus petraea*) ein höheres Maß an Vitalität, ohne die forstwirtschaftlichen Ziele der Stadt Hannover zu gefährden, erzielt werden (ROLOFF 2001:150).

In Kombination mit den waldbaulichen Maßnahmen ist als zweite Handlungsempfehlung die Möglichkeit von **Schutzkalkungen** in Betracht zu ziehen. Über den erhöhten Filtereffekt der ersten Baumreihe kommt es kleinräumig zu einer verstärkten Versauerung des Bodens. Um diesen Prozess abzupuffern, könnten gezielte Schutzkalkungen auf vergleichsweise geringem Raum erfolgen (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010:159f.). Jedoch sollten hierfür weitere Untersuchungen zur Identifizierung der Konzentrationen und dem Mobilitätsverhalten von Schwermetallen sowie Auswirkungen auf das Edaphon erfolgen. Zudem sind die Kalkungsmengen erheblich und erfordern eine mehrjährige Wiederholung, um den gewünschten Effekt zu erzielen (ELLING et al. 2007:343f.).

Beide Handlungsoptionen führen jedoch nicht zu einer Behebung des Problems, sondern bekämpfen lediglich die bereits vorherrschenden Symptome. Wie in der Vergangenheit mit der Verordnung zur Nassenentschwefelung ist vom Gesetzgeber eine verbindliche Regelung zur effizienten Filterung von Abgasen, im speziellen bei Dieselfahrzeugen, unabdingbar. Die benötigten technischen Lösungen zur Reduzierung der NO_x-Belastungen bestehen bereits. In mehreren Testreihen ist vom ADAC verifiziert worden, dass beispielsweise durch den Einbau eines SCR-Katalysators die NO_x-Emissionen eines Dieselfahrzeuges deutlich gesenkt werden können (ADAC 2018:6). Die dritte Handlungsempfehlung, die **Reduzierung anthropogen bedingter Schadstoffe** und der gleichzeitige **Wandel zu einer umweltbewussten, suffizient lebenden Gesellschaft**, wären nicht nur für die Eilenriede erstrebenswert.

Literatur

ADAM, G., LÄUGER, P. & G. STARK (2009[5]): Physikalische Chemie und Biophysik. Berlin, Heidelberg: Springer.

AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN (2005[5]): Bodenkundliche Kartieranleitung. Stuttgart: Schweizerbart.

ALLGEMEINER DEUTSCHER AUTOMOBIL-CLUB (ADAC) (2018): Überprüfung der Funktions- und Leistungsfähigkeit hardwareseitig umgerüsteter Euro 5-Dieselfahrzeuge im Alltagsbetrieb. Durchführung eines Alltagstests über 50.000 km mit regelmäßiger Vermessung der Abgasemissionen im Zulassungszyklus WLTC und Realbetrieb (RDE). - Erster technischer Zwischenbericht nach 10.000 km Alltagstest. <www.adac.de//media/pdf/motorwelt/adac_test_diesel_nachrustung_kurz.pdf?la=de-de&hash=218FD66D5D1B3 2FBADB94A4921B5F0EC46409CC1> (Stand: 2018-10) (Zugriff: 2019-02-15).

BLIEFERT, C. (2002[3]): Umweltchemie. Weinheim: WILEY-VCH.

BLUME, H.-P. & H. MEUSER (2011[4]): Anthropogene Böden. In: BLUME, H.-P., HORN, R. & THIELE-BRUN, S.: Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und Bodenbelastung - Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Weinheim: Wiley-VCH, 465-484.

BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG UND LANDWIRTSCHAFT (BMEL) (2014): Eine Loseblatt-Sammlung der Analysemethoden im Forstbereich. - Handbuch Forstliche Analytik, <www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Wald/Jagd/Bodenzustandserhebung/Handbuch/HandbuchForstanalytikKomplett.pdf?__blob=publicationFile> (Stand: 2014) (Zugriff: 2019-02-12).

DEUTSCHER WETTER DIENST (DWD) (2018a): Monatlicher Klimastatus Deutschland. Datenteil für Juni 2018. <www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.html> (Stand: 2018-07-02) (Zugriff: 2018-06-10).

DEUTSCHER WETTER DIENST (DWD) (2018b): Monatlicher Klimastatus Deutschland. Datenteil für Juli 2018. <www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.html> (Stand:2 018-08-03) (Zugriff: 2018-06-10).

DEUTSCHER WETTER DIENST (DWD) (2018c): Monatlicher Klimastatus Deutschland. Datenteil für August 2018. <www.dwd.de/DE/leistungen/pbfb_verlag_monat_klimastatus/monat_klimastatus.html> (Stand: 2018-09-03) (Zugriff: 2018-06-10).

DEUTSCHER WETTER DIENST (DWD) (2018d): Klimareport Niedersachsen. Fakten bis zur Gegenwart. - Erwartungen für die Zukunft. <www.umwelt.niedersachsen.de/.../Klimareport_Niedersachsen_Juni_2018_.pdf> (Stand: 2018) (Zugriff: 2018-06-10).

DEUTSCHER WETTER DIENST (DWD) (o.J.): Zeitreihen und Trends. - Niederschlagsanomalien. Niedersachsen, Bremen, Hamburg. Referenzzeitraum 1981–2010. <www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html?nn=480164#buehneTop> (Stand: 2018) (Zugriff: 2018-06-10).

DIN EN 16339 (2013): Außenluft – Bestimmung der Konzentration von Stickstoffdioxid mittels Passivsammlern. In: DIN: VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft. 5. Berlin: Beuth.

DUTTMANN, R. (1985): Geoökologische Grundlagen und Gefährdungen eines innerstädtischen Waldgebiets – das Beispiel der südlichen Eilenriede/Hannover. Geographisches Institut, Univ. Hannover.

ELLENBERG, H., DÜLL, R., WEBER, H.E. et al. (2001[3]): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. Göttingen: Erich Glotze Verlag.

ELLING, W., HEBER, U., POLLE, A. & F. BEESE (2007): Schädigung von Waldökosystemen. Auswirkungen anthropogener Umweltveränderungen und Schutzmaßnahmen. München: Elsevier.

GRAW, M. (2011[5]): Ökologische Bewertung von Fließgewässern. In: VEREINIGUNG DEUTSCHER GEWÄSSERSCHUTZ E.V.: Schriftenreihe der Vereinigung Deutscher Gewässerschutz. 64. Bonn: Vereinigung Deutscher Gewässernetze e.V.

HERRMANN, M. (2016): Passivsammler. Bilddateien. Schriftliche Mitteilung (2018-11-01).

HÖVELING, C. (2016): Verkehrszählung der Stadt Hannover. Schriftliche Mitteilung (2018-11-19).

HUMBOLDT UNIVERSITÄT ZU BERLIN (HU Berlin) (o.J.): Bodenchemische Laboruntersuchungen. - Bodenchemische Untersuchungsbox 4. <www.bodenkunde-projekte.hu-berlin.de/bodenboxen/Geochemie4.html> (Stand: o.J.) (Zugriff: 2019-02-18).

KLASMEIER, E (2015): Bestimmung des Stickstoffdioxids mit PALMES-Passivsammlern. Photometrische Analyse. In: Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim: SOP.

KLUG, P. (2005): Vitalität und Entwicklungsphasen bei Bäumen. - PRO BAUM 2005, 1. <www.baumpflege-lexikon.de/fileadmin/user_upload/Stadtbaumleben/Fachartikel/Vitalitaet_ProBaum.pdf> (Stand: 2005) (Zugriff: 2019-02-10).

KUES, J. (1987): Bodenuntersuchungsprogramm Stadtwald Hannover. Hannover: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung.

LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (LBEG) (2014): Symbolschlüssel der Geologie. Symbole für die Dokumentation geologischer Feld- und Aufschlussdaten. <www.lbeg.niedersachsen.de/download/74117/Symbolschluessel_Geologie.pdf> (Stand: 2017-07) (Zugriff: 2019-02-12).

LANDESAMT FÜR BERGBAU, ENERGIE UND GEOLOGIE (LBEG) (2014): NIBIS® KARTENSERVER. <www.nibis.lbeg.de/cardomap3/> (Stand: 2014) (Zugriff: 2019-02-12).

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) NIEDERSACHSEN (2012a): Forstbetriebswerk. Hannover: Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) NIEDERSACHSEN (2012b): Bestandesblätter. Försterei Hannover-Nord. Hannover: Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) NIEDERSACHSEN (2012c): Bestandesblätter. Försterei Hannover-Süd. Hannover: Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) NIEDERSACHSEN (2012d): Forstbetriebskarte. Stadt Hannover Süd. Maßstab: 1:5000. Hannover: Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER (LWK) NIEDERSACHSEN (2012e): Forstbetriebskarte. Stadt Hannover Nord. Maßstab: 1:5000. Hannover: Landwirtschaftskammer Niedersachsen.

LARCHER, W. (1994[5]): Ökophysiologie der Pflanzen. Stuttgart: Ulmer.

LENNARTZ, B. & B. TIEMEYER (2011[4]): Boden- und Landschaftswasserhaushalt. In: BLUME, H.-P., HORN, R. & THIELE-BRUN, S.: Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und Bodenbelastung - Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Weinheim: Wiley-VCH, 57–91.

MEINING, S. (2007[2]): Waldbäume. Bilderserie zur Einschätzung von Kronenverlichtungen bei Waldbäumen. Kassel: Printec Offset medienhaus.

MUNSELL (1975): Standard Soil Color Charts. Baltimore.

NAGEL, H.D., SCHLUTOW, A. & T. SCHEUSCHNER (2014): Modellierung und Kartierung atmosphärischer Stoffeinträge und kritischer Belastungsschwellen zur kontinuierlichen Bewertung der ökosystemspezifischen Gefährdungen der Biodiversität in Deutschland – PINETI (Pollutant INput and Ecosys-Tem Impact). Teilbericht 4. Critical Load. Exceedance und Belastungsbewertung. <www.umweltbundesamt.de/publikationen/modellierungkartierung-atmosphaerischer-1> (Stand: 2014-12) (Zugriff: 2019-02-12).

NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT (NW-FVA) (2017a): Waldzustandsbericht 2017. <www.nw-fva.de/fileadmin/user_upload/Sachgebiet/Waldzustand_Boden/WZE-Berichte/WZB2017_Niedersachsen_Internet.pdf> (Stand: 2017) (Zugriff: 2019-02-05).

NORDWESTDEUTSCHE FORSTLICHE VERSUCHSANSTALT (NW-FVA) (2017b): Arbeitsanweisung für die Waldzustandserhebung 2017 (WZE 2017) in Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein.

NIEDERSÄCHSISCHE LANDESBEHÖRDE FÜR STRAßENBAU UND VERKEHR (NLStBV) (2015): Verkehrsmengenkarte. 1:250000. Hannover: Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr.

PALMES, E.D., GUNNISON, A.F., DIMATTIO, J. & C. TOMCZYK (1976): Personal sampler for nitrogen dioxide. -American Industrial Hygiene Association journal. 2010, 37:10, <www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/0002889768507522> (Stand: 2010-06-04) (Zugriff: 2016-07-12).

REGION HANNOVER (2013): Landschaftsrahmenplan der Region Hannover. <www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Umwelt-Nachhaltigkeit/Naturschutz/Landschaftsrahmenplan-der-Region-Hannover> (Stand: 2013) (Zugriff: 2019-02-12).

REGION HANNOVER (2015): Pendlerverflechtungen in der Region Hannover. – Stadtinformationen, 1, 15, 250. <www.wirtschaftsfoerderung-hannover.de/content/download/529104/12161717/file/005_Standortinformation_Pendlerverflechtung.pdf.> (Stand: 2015-01) (Zugriff: 2019-02-12).

REHFUESS, K. E. (1990[2]): Waldböden: Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Hamburg: Parey.

ROLOFF, A. (2001): Baumkronen. Verständnis und praktische Bedeutung eines komplexen Naturphänomens. Stuttgart: Ulmer.

SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H., et al. (2010[16]): Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg: Spektrum.

SCHIMMING, C. G. (2011[4]): Kontamination von Böden. Säurebelastung. In: BLUME, H.-P., HORN, R. & THIELE-BRUN, S.: Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und Bodenbelastung - Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Weinheim: Wiley-VCH, 270-283.

SCHLATTER, S. (2004): NO_2 Passivsammlermessung mit Passivsammlern des Palmes-Typs. - Ostluft, Leistungszentrum Qualitätssicherung, Standartarbeitsanweisung. <www.iacweb.ethz.ch/staff//krieger/pdf/no2_passivsammler.pdf> (Stand: -07-26) (Zugriff: 2019-02-04).

SCHMIDT, O. (2014): „Urban Forestry“ - Chance für die Forstwirtschaft. - LWF-Wissen, 68. <www.waldwissen.net/technik/land_raum/lwf_arboristik/index_DE> (Stand: 2014) (Zugriff: 2019-02-12).

SCHULFERIEN.ORG (2018): Kalender 2018 + Ferien. <www.schulferien.org/ Kalender_mit_Ferien/kalender_2018_ferien_Niedersachsen.html> (Stand: 2018) (Zugriff: 2019-02-12).

SPEIER, M. & R. POTT (1999): Der hannoversche Stadtwald „Eilenriede“ in geobotanischer und historischer Sicht. In: Bericht der Reinhold Tüxen Gesellschaft, 11, 279-303.

STAATLICHES GEWERBEAUFSICHTSAMT HILDESHEIM (LÜN) (2017): Luftqualitätsüberwachung in Niedersachsen. Tabellarische Zusammenstellung der Messergebnisse 2017. <www.umwelt.niedersachsen.de/live/search.php> (Stand: 2018-03-15) (Zugriff: 2019-02-12).

STAATLICHES GEWERBEAUFSICHTSAMT HILDESHEIM (LÜN) (2018): Luftqualitätsüberwachung in Niedersachsen. Monatsprotokoll Juni 2018. <www.luen-ni.de/berichte/mobe_1806_ww3.pdf> (Stand: 2018-06) (Zugriff: 2019-02-12).

STADT HANNOVER (2018): Luftgütesituation in Hannover. -Information des Fachbereichs Umwelt und Stadtgrün. <www.hannover.de/content/download/737129/18449201/file/Luftg%C3%BCte+in+Hannover-2017.pdf> (Stand: 2018-10-08) (Zugriff: 2019-02-12).

STADT HANNOVER (2017a): Digitale Orthophotos. Stadtgebiet Landeshauptstadt Hannover. <www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Verwaltungen-Kommunen/Die-Verwaltung-der-Landeshauptstadt-Hannover/Dezernate-und-Fachbereiche-der-LHH/Baudezernat/Fachbereich-Planen-und-Stadtentwicklung/Geo-information/Open-GeoData/Digitale-Orthophotos-DOP20> (Stand: 2017-03-16) (Zugriff: 2019-02-08).

STADT HANNOVER (2017b): Saubere Luft für Hannover. Und wie sie verbessert werden kann. <www.hannover.de/Leben-in-der-Region-Hannover/Umwelt-Nachhaltigkeit/Umwelt-information/Luft,-L%C3%A4rm-und-Strahlung/Luftg%C3%BCte,-Luftreinhaltung-und-Luftschadstoffe> (Stand: 2017-12) (Zugriff: 2019-02-12).

STADT HANNOVER (2016): Die Eilenriede. Stadtwälder in Hannover. <www.hannover.de/content/download/230121/.../file/Die+Eilenriede+2016.pdf> (Stand:2016-01) (Zugriff:2019-02-08).

STADT HANNOVER (2015): Bodenkundliche Karte. Maßstab: 1:25000. Hannover: Stadt Hannover.

STADT HANNOVER (2012): Umweltbericht 2012. -Schriftenreihe kommunaler Umweltschutz, 2012, 50. <www.hannover.de/content/download/392916/8299631/file/umweltbericht-2012.pdf> (Stand: 2012) (Zugriff: 2019-02-15).

STADT HANNOVER (o.J.): Information Stickstoffdioxid. <www.hannover.de/content/download/601098/13726914/file/InformationStickstoffdioxid.pdf> (Stand: o.J.) (Zugriff: 2019-02-15).

STAHR, K., KANDELER, E., HERRMANN, L. & T. STRECK (20163): Bodenkunde und Standortlehre. Stuttgart: Ulmer.

STOCKMANN, H.U. (1981): Umweltbericht Hannover. Geographische Lage, großklimatische Lage, Klimabeschreibung. Hannover: Abteilung für Stadtforschung und Umweltschutz.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1986a): Method 9038. Sulfate (Turbidimetric). <www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/9038.pdf> (Stand: 1986-09) (Zugriff: 2018-06-05).

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA) (1986b): Method 9035. Sulfate (Colormetric, Automated, Chloranilate). <www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/9035.pdf> (Stand: 1986-09) (Zugriff: 2018-06-05).

UTERMANN, J., GORNY, A. HAUENSTEIN, M. et al. (2000): Geologisches Jahrbuch. Labormethoden-Dokumentation. Stuttgart: Schweizerbart.

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI) (1978): VDI Richtlinie 2310. Maximale Immissionswerte zum Schutz der Vegetation. -Maximale Immissionswerte für Stickstoffdioxid. Blatt 5. <www.vdi.de/nc/richtlinie/entwurf_alt_vdi_2310_blatt_5maximale_immissions_werte_zum_schutze_der_vegetation_maximale_immissions_wer_/> (Stand: 2003-03) (Zugriff: 2019-02-08).

VON DRACHENFELS, O. (2016): Kartierschlüssel für Biotoptypen in Niedersachsen. Unter besonderer Berücksichtigung der gesetzlich geschützten Biotope sowie der Lebensraumtypen von Anhang I der FFH-Richtlinie. - Naturschutz und Landschaftspflege in Niedersachsen, A/4. <www.nlwkn.niedersachsen.de/download/111210/Den_Kartierschluessel_mit_Stand_Juli_2016_koennen_Sie_sich_hier_herunterladen.pdf> (Stand: 2016-07) (Zugriff: 2019-02-15).

WELLBROCK N., EICKENSCHEIDT, N., HILBRIG, L. et al. (2018): Leitfaden und Dokumentation zur Waldzustandserhebung in Deutschland. - Thünen Working Paper 84. <www.thuenen.de/media/publikationen/thuenenworkingpaper/ThuenenWorkingPaper_84.pdf> (Stand: 2018-01) (Zugriff: 2018-05-17).

WITTMAR, M. (2019): Die schadstoffgetragene Verkehrsbelastung des Stadtwaldes Eilenriede (Hannover). Geoökologische Untersuchungen über die Umweltmedien: Luft, Boden und Bios. Unveröff. Bachelorarbeit, Univ. Hildesheim, Inst. f. Geographie.

Danksagung
Die Studie wurde tatkräftig unterstützt durch Herrn Markus Herrmann (Abteilung Chemie der Universität Hildesheim) sowie Herrn Johannes Drechsel und Herrn Felix Bettin (beide Landeshauptstadt Hannover, Fachbereich Umwelt und Stadtgrün) – dafür herzlichen Dank!

Anschrift der Autoren:

Mischa Wittmar B.Sc.
m.wittmar@gmx.net

Prof. Dr. Martin Sauerwein
martin.sauerwein@uni-hildesheim.de

Universität Hildesheim
Institut für Geographie
Universitätsplatz 1
D-31141 Hildesheim