

Möglichkeiten zur nachhaltig optimierten Emissionsminderung durch Bauwerks-Naturierung¹ in urbanen Räumen

Dr. Wolfgang Rudolf

In den letzten Jahrzehnten ist die Emissionsproblematik in den technikorientierten Umweltwissenschaften in einem starken Maße moralisiert worden. So findet man in dem aktuellen Fünfbänder des Umweltschutzes und der Umweltschutztechnik des Springer Verlages, dass man im engeren Sinne unter Emissionen „ ...Schadstoffe oder Energie versteht, die bei Übertritt in die Umwelt Schaden verursachen ... und dass die Verantwortung dafür bei den Ingenieuren ... liegt.“

Dieses Anerkenntnis ist sehr ehrenhaft, hilft aber bei der Lösung mehrdimensionaler multikriterieller Probleme wie dem städtischen Verkehrsraum nicht weiter.

Unzweifelhaft sind im Bereich der Emissionsminderung bei technischen Anlagen Fortschritte erzielt worden.

Die Reduktion auf rein ingenieurtechnische Untersuchungsfeldanalysen im Verkehrsraum urbaner Agglomerationen mit dem Ziel der Emissionsminderung² führt indes zu einer nichthaltbaren Einengung der vorhandenen Lösungsmöglichkeiten.

Nicht die disziplinäre oder multidisziplinäre ingenieurtechnische Forschung sondern die übergreifend interdisziplinäre Forschung nach objektivierbaren Kriterien bietet die Möglichkeit, Wege zur nachhaltigen Emissionsminderung in Verkehrsräumen aufzuzeigen.

Wege, die dann einzig im Rahmen einer public private partnership der städtischen Akteure, unter Einschluss des betroffenen Bürgers , sozial, ingenieurtechnisch, ökonomisch und ökologisch und damit nachhaltig umgesetzt werden können.

Zunächst der Versuch, den Verkehrsraum als Teil des urbanen Raums in einer übergreifenderen Form aus dem allgemeinen Gesetz der Biologie heraus thermodynamisch einzuordnen³

¹ Bauwerks-Naturierung ist die vegetative Behandlung von vertikalen, horizontalen und geneigten Bauwerksoberflächen mit standortangepaßten technischen Vegetationssystemen. Ziel dabei ist die Schaffung einer unter wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten optimierten hochabsorbierenden vegetativen Multifunktionsschicht auf Dächern, Fassaden, Mauern, Schallschutzwänden, -mauern und -wällen, Gleisbettungen, ausgewählten Straßenverkehrsflächen und Verkehrsbegleitflächen, Punktbauten, Böschungen, Hochwasserschutzbauten und Uferverbauungen. Die vegetative Multifunktionsschichten (siehe auch Vegetationstragschicht) besitzen im System der Bauwerks-Naturierung neben ihrer selbsterhaltenden Funktion, eine auf das Bauwerk gerichtete Innenfunktion und eine auf die Umgebung des Bauwerks gerichtete Außenfunktion in einem jeweils wirtschaftlich und ökologisch zu optimierenden Gleichgewicht

² Aussendung bzw. Abgabe akustischer, thermischer, stofflicher, radiativer, optischer Wellen oder Teilchen und deren Transport durch den Raum

³ Lebende Systeme sind niemals im Gleichgewicht und leisten auf Kosten ihrer freien Energie ständig Arbeit gegen das sich bei den äußeren Bedingungen einstellende Gleichgewicht (Bauer 1935)

Hypothese:

Verkehrsräume in Städten sind - thermodynamisch⁴ gesehen - offene Systeme, welche die in ihr enthaltene Energie in Arbeitsprozessen in Negentropie umwandeln und im beständigen Stoff- und Energieaustausch mit ihrer Umgebung bei Zunahme von Entropie sind.

Insofern stellt sich die Emissionsproblematik als eine entropische Konsequenz des Stoff- und Energieaustausches in urbanen Räumen.

Um sich dem aus der Verkehrslärmproblematik entstehenden, im weitesten Sinne „humanbioklimatisch-lufthygienischen“ städtischen Problem zu nähern, gilt es vorauszusetzen, dass Emissionen bzw. die aus ihr resultierende Immissionen⁵ nicht per se negativ sind - frei nach dem Motto, die natürlichen Emissionen sind gut, die anthropogenen sind schlecht - bzw. dass die Aufgabe darin besteht: über die Abwesenheit oder Anwesenheit von Emissionen und deren Konsequenzen zu entscheiden .

Emissionen haben auf die psychische und physische Situation des Menschen positive und negative Auswirkungen. Der Grad der Wirkung hängt dabei im entscheidenden Maße von der individuellen Befindlichkeit und vom Grad der bewussten individuellen Steuerbarkeit bzw. Beeinflussbarkeit der Emission, Transmission⁶ bzw. Immission ab.

Diese sind im Stadt- und Verkehrsraum im wesentlichen durch die biotischen und abiotischen Rahmenbedingungen gesetzt und bilden gleichzeitig den Schlüssel zur Kompensation und/oder Minderung der Empfindung von Immissionen. Sie sind die wesentlichen Deskriptoren zur Steuerung des Wechselverhältnisses zwischen Emission, Transmission, Immission und deren Perzeption⁷.

Der Grad der immissiven Belastung des Menschen durch Perzeption muss dabei zwingend im Bereich eines „positiven Stresses“ gehalten werden.

Es geht nicht, wie bereits ausgeführt, um die Frage der technischen Lösung von Abwesenheit von Emission, sondern um die Frage, wie die im Verkehrsraum wirkenden Emissionen auf die Gesunderhaltung des Menschen hin, unter Anerkennung der gewachsenen Urbanität und dem Wunsch des Bürgers nach Urbanität, optimiert werden können.

⁴ 2. Hauptsatz der Thermodynamik: Alle von selbst in der Natur ablaufenden Vorgänge streben einem Gleichgewichtszustand zu. Dies ist der Zustand größter Wahrscheinlichkeit und größter Unordnung der Teilchen. Das Maß der Unordnung ist die Entropie. Das Maß der Ordnung ist Negentropie.

⁵ Einwirkung akustischer, thermischer, stofflicher, radiativer, optischer Wellen oder Teilchen nach ihrem Transport durch den Raum

⁶ Form des Übergangs von akustischen, thermischen, stofflichen, radiativen optischen Emissionen zur Immission

⁷ Reizaufnahme, Wahrnehmung durch Sinnesorgane

Urbanität als solche ist immer an Emission und damit auch an individuell empfundene Belastung am Immissionsort Mensch gebunden.

Und sei es die Eigenschaft des Verkehrsraums selbst, optische Emission zu sein, die der Bürger tagtäglich zu perzipieren hat.

Insofern sehen wir die Zielrichtungen der Bestimmung für Möglichkeiten zur Bauwerks-Naturierung im Verkehrsraum unter dem Blickwinkel einer kritischen Aufnahme der städtischen Praxis, den betroffenen Bürger aus Emissionsgründen kostspielig von seiner städtischen Umwelt in seine häusliche Welt „wegzusperrn“, „wegzudämmen“ und „wegzuschützen“. Die Lösungen zur Emissionsminderung in den Verkehrsräumen der Zukunft liegen in einer hochsynergistischen, den Bürger als handelnden Akteur mit einbeziehenden Herangehensweise, bei der die Lösungen multidisziplinär analysiert und interdisziplinär - im Sinne einer wissenschaftlich fundierten public private partnership - erarbeitet werden. Insofern sind die Entscheidungen darüber, wie mit den Emissionen umgegangen wird, keine zweiwertig logischen - zwischen dieser oder jener „Emission“ - sondern mehrwertig logisch, also von Entscheidungen, die die Abhängigkeit und Wechselwirkung der Emissionen zueinander und zu anderen, sie bestimmenden Faktoren - einschließlich sozio-ökonomisch und sozio-technischer - mit einschließen.

Erst dieses Verständnis erlaubt den Zugang zu Innovationen mit hoher Nutzenseffizienz.

Wie ist die Ausgangssituation?

Die auf die Biosphäre der Verkehrsräume wirkenden Emissionen, verbunden mit biozider und phytozider städtischer Planung und technizistischer Architektur, führten und führen zu wachsenden bioklimatischen und insbesondere lufthygienischen Problemen.

Die wachsende Konkurrenz zwischen versiegelten Flächen zur Aufnahme von mobilem und stationären Verkehr und Vegetationsfläche in der Stadt verschärft dieses Problem.

Exzessiver Landschaftsverbrauch durch Verkehrsbauten bedeutet regionale Vernichtung ehemals photosynthetisch und humanbioklimatisch aktiver - letztlich emissions- und immissionsmindernder - Flächen.

Was ist notwendig ?

Notwendig ist ein Paradigmenwechsel in der Nutzung der bisher im Verkehrsraum in der Stadt, im Sinne der emissionsmindernden Nutzung, brachliegenden Bauwerksoberflächen.

Er ist auf die Quadratkilometer bisher phytozid gestalteter horizontaler, geneigter und vertikaler Bauwerksoberfläche im urbanen Verkehrsraum gerichtet.

Wo sind die geschichtlichen Parallelen ?

Die Stadt an der Wende zum 21. Jahrtausend befindet sich im lufthygienischen Mittelalter. Das städtische Humanbioklima, insbesondere das in den Verkehrsräumen, wird permanent mit gesundheitsbeeinträchtigenden Immissionen belastet, deren Ursache im starken Maße der Verkehr und die für ihn notwendigen Bauten sind, ohne dass es eine wirksame Abteilung und Entsorgung dieser "technogenen Fäkalien" gäbe.

War die Antwort der Stadt auf die durch frei in den Stadtraum verklappten flüssigen Fäkalien verursachte Cholera vor 150 Jahren die Einführung der innerstädtischen Kanalisation, so könnte heute die kommunale Antwort in der Einführung einer Bauwerks-Großflächen-Naturierung⁸ mit dem Ziel der Kanalisierung und Minderung von Emissionen, Transmissionen und Immissionen liegen.

Zur Nachhaltigkeit:

Ziel des Beitrages ist die Darstellung der Möglichkeiten zu einer nachhaltig optimierten Emissionsminderung.

Insofern gilt es zunächst den Begriff der Nachhaltigkeit unter dem Blickwinkel der Forschungsarbeiten zur - auf den Menschen gerichteten - Emissionsminderung im Verkehrsraum in seinem Wechselverhältnis zur Gesamtstadt und dem Stadtumland als Nachhaltige Stadtentwicklung zu definieren:

Nachhaltige Stadtentwicklung ist alles das, was dazu führt, dass die humanbioklimatisch relevanten Potenziale der Innenstadt schrittweise mit den humanbioklimatischen aktiven Ressourcen des natürlichen Umlandes thermodynamisch relevant verbunden werden.

Worin bestehen die urbanen Möglichkeiten zur Emissionsminderung ?

Aus eben dargestellten Zusammenhang resultiert die Frage, wie einem solchen Anspruch an nachhaltige Entwicklung entsprochen werden kann. Bei der Umfeldanalyse der urbanen Ressourcen des

⁸ Bauwerks-Großflächen-Naturierung ist die vegetative Behandlung von einzelnen oder zusammenhängenden vertikalen, horizontalen und geneigten Bauwerksoberflächen zu Biotopen mit mindestens 0,5 ha Ausdehnung. Das Ziel besteht darin, auf diese Weise die hochversiegelten Verkehrsinnenstadträume schrittweise mit stadtnahen Vegetationsflächen und Kaltluftentstehungsgebieten über Vegetationsspiralen oder -speichen unter Integration des erdgebundenen Vegetation humanbioklimatisch relevant zu verbinden.

Verkehrsraums stellt sich heraus, dass neben den dringend notwendigen weiteren Emissionsminderungen an den mobilen Emissionsquellen, eine Reduktion der Sekundäremission durch Immissionsminderung an den stationären Quellen des Verkehrsraums - den Bauwerksoberflächen - nachhaltig notwendig und möglich ist.

Urbane und urbanoide technische Bauwerksoberflächen des Verkehrsraumes sind dazu photosynthetisch zu aktivieren. Dazu sind die verkehrsaufnehmenden, verkehrsbegleitenden horizontalen, geneigten und vertikalen Bauwerksoberfläche im urbanen Verkehrsraum mit dem Schwerpunkt auf Straßen- und Straßenbegleitflächen einschließlich Brücken und Tunnelanlagen sowie den daran anschließenden aufgehenden Vertikalen wie Fassaden, Wänden, Mauern, Gittersystemen und Punktbauten wie Licht- und Oberleitungsmasten als auch Geneigten wie Böschungen und Wällen zu modifizieren.

Diese Bauwerksoberflächen sind als Ressource zur Minderung der gesundheitsbeeinträchtigenden Emissionen und zur Optimierung des Humanbioklimas im Verkehrsraum zwar vorhanden, aber als solche noch nicht begriffen.

Um beispielsweise eine thermodynamisch und lufthygienisch relevante Verbindung zwischen dem insbesondere in den Sommermonaten hoch aufgeheizten und emissiven urbanen Verkehrsraum und den Kalt- bzw. Frischluftentstehungsgebieten der Stadt- oder des Stadtumlandes herzustellen, ist ebenerdig nach Möglichkeiten zu suchen, kalte Luft in die Stadt zu transportieren. Die einzige dafür noch geeignet erscheinende Fläche ist die Oberfläche von Gleisanlagen, die - Dank E-Traktion - lufthygienisch unbedenklich, kalte Luft durch Wärmekonvektion und unter Ausnutzung des Geländeprofiles in die hochaufgeheizten Stadträume zu deren Kühlung und Emissionsminderung leiten könnte. Um diese Funktion zu übernehmen, müssen die Gleisanlagen mit technischen Vegetationssystemen versehen sein.

Neben den thermodynamisch relevanten Sachverhalten besteht ein Ausgangspunkt der Forschungen in der These, dass dünnschichtige viskose Naturierungssysteme⁹ mit ihren Vegetationstragschichten¹⁰ zu

¹⁰ Universelles extremophile Xerophyten aufnehmendes technisches Medium physikalischer und chemischer Vorgänge zur Aufnahme und Umwandlung akustischer, thermischer und radiativer Immissionen sowie zur stofflicher Aufnahme, Rückhaltung und partiellem Abbau von Stoffen, Gasen und Flüssigkeiten durch Inkorporation in die Biomasse zur Verminderung von Sekundäremissionen. Extremophile Xerophyten (stadtökologische nicht taxonomische Einordnung) sind Pflanzen, die neben Trockenheit insbesondere folgende Stressoren tolerieren: minimale Vegetationssubstratschichtdicken; Vegetationssubstrate mit hohem Mineralanteil; temporäre Staunässe; dauerhafte Windexposition; dauerhaft hohe Schadstoff- Immissionen und Depositionen; hohe Schadstoffkonzentrationen

einer ökologisch und ökonomisch optimierbaren Emissionsminderung führen.

Technische Vegetationsysteme an den, in den und auf Bauwerksoberflächen der Verkehrsräume beeinflussen die Temperaturschichtung und damit auch die Luft- bzw. „Windschichtung“ sowie die Luftfeuchtigkeit, diese wiederum beeinflussen die Transmission von verkehrsinduzierten Emissionen in Abhängigkeit ihres Emissionsstroms und –dichte.

Durch die gezielte Beeinflussung der Transmissionen durch absorbierende bzw. gering reflektierende Oberflächen können die Emissionsausbreitungen im Sinne von „Schattenwirkungen“ (z.B. Interzeptionsdepositionen) behindert werden. Die bereits bekannten vegetativen Schallschutzwände und – wälle belegen derartige Herangehensweisen.

In Anbetracht der Raum- und Flächensituation in den hochverdichteten Verkehrsräumen der Innenstädte und Großwohnsiedlungen , die den Aufbau von o.g. Emissionsschutzsystemen nicht zulässt, ist zu hinterfragen, wie eine ökologische Intensivierung der vorhandenen Bauwerksoberflächen durch Nutzung hochabsorbierender Vegetationstragschichten im Sinne der Schaffung von großflächigen „Schattenwirkungen“ für den Bürger sowie mit dem Ziel einer kontrollierten chemisch-physikalischen Neutralisation, Retention¹¹ und ggf. dem partiellem Abbau der immitierten nassen und trocken Deposition¹² eingeleitet werden kann.

Wie sind die Emissionsquellen zu klassifizieren ?

Wie bereits festgestellt, sind ein emissionsfreier Verkehrsraum oder eine emissionsfreie Stadt ein sich selbst ausschließender Widerspruch. Bei der Umfeldanalyse lassen sich folgende Emissions-Transmissions- und Immissions- Wechselwirkungen zusammengefasst feststellen:

- Akustische
- Thermische
- Stoffliche
- Radiative
- Optische

¹¹ Temporäre Rückhaltung von stofflichen Immissionen in Naturierungssystemen

¹² Dauerhafte Rückhaltung, Ab- oder Einlagerung von stofflichen Immissionen in oder an einem Naturierungssystem

Die angeführten Emissionen lassen sich in kontinuierliche und eruptive Emissionen natürlicher Quellen und in Emissionen aus anthropogener Tätigkeit gliedern.

Die hohe Anzahl der Einzelquellen erschwert zunächst deren Analyse und Identifizierung. Insofern soll im Rahmen der Umfeldanalyse der relativ klar abgrenzbare urbane Verkehrsraum den Raumquellen zugeordnet werden. Untersucht man nunmehr die im Verkehrsraum vorhandenen Emissionsquellen, lassen sich diese in Punkt- und Linien- sowie Flächenquellen zuordnen. Wobei sich die jeweiligen Emissionen in starkem Maße überlagern. Betrachtet man die jeweiligen Quellen qualitativ, stellt man fest, dass es eine Vielzahl gibt, die nur eine sehr geringe Emissionsrate aufweisen.

Zu den Emissionsquellen mit geringer Emissionsstromdichte mit großer Emissionsfläche lassen sich die durch natürliche thermische und radiative Immission zur Sekundäremission angeregten Bauwerksoberflächen des Verkehrsraums zählen. Sieht man die Emissionsquellen des sich bewegenden Verkehrs, ist die Emissionsstromdichte bei gleichzeitig geringer Emissionsfläche hoch. Dabei ist der :

Emissionsstrom im Verkehrsraum = Emissionsstromdichte x Emissionsfläche

Welche Emissionsminderungsmöglichkeiten durch Bauwerks-Naturierung bestehen ?

Betrachtet man den Verkehrsraum unter dem Gesichtspunkt der Emissionsminderung durch Bauwerks-Naturierung, muss die Raumquelle in die durch hochabsorbierende Vegetationssysteme emissionsminderbaren Quellen und die durch Bauwerks-Naturierung nicht emissionsminderbaren Quellen aufgeteilt werden.

Grundsätzlich ergibt sich daraus die Unterscheidung in mobile und stationäre Quellen, wobei sich die Möglichkeiten der Bauwerks-Naturierung ausschließlich auf die stationären, durch den sich bewegenden Verkehr in ihrem Emissionsverhalten angeregten Bauwerksoberflächen orientiert.

Diese stationären Quellen werden neben den anthropogenen Immissionen im starken Maße durch natürliche Immissionen in ihrem Emissionsverhalten beeinflusst und spielen in ihren Wechselwirkungen eine entscheidende Rolle für den Bürger, der die Emissionen psychophysikalisch und somatisch zu perzipieren hat. Es wird eine wichtige Aufgabe in der Zusammenarbeit mit den Architekten sein, die im Verkehrsraum vorhandenen Bauwerksoberflächen als Primäremittent

und Sekundäremittent zu deaktivieren und als Immissionsort im Sinne der Schaffung von vegetativen „Schattenwirkungen“ zu qualifizieren.

Worin besteht das Optimierungsziel bei Emissionsminderungen ?

Um die Vielfalt der unterschiedlichen städte- und verkehrsbaulichen sowie architektonischen als auch psycho-physikalischen und – somatischen Zielkriterien zur Emissionsminderung im Verlauf der vorgesehenen Forschungen rechentechnisch gestützt zu optimieren, müssen Funktionale gebildet und die Folgen ökologisch und ökonomisch modelliert werden. Zur Optimierung wird deshalb ein Prognosemodell **ANISTREET**¹³ entwickelt, welches den Nutzer in die Lage versetzen soll, die Auswirkungen seiner individuellen Präferenzstruktur für den urbanen Verkehrsraum abzuschätzen sowie übersichtlich zu visualisieren und Ergebnisse, Interaktionen und Interdependenzen zu animieren. Die Datenteppiche sollen dabei dreidimensional und fotorealistisch über den Straßenverkehrsraum abgebildet und animiert werden.

Gegenüber Karten oder rechnergestützten geographischen Informationssystemen stellt das eine erhebliche Weiterentwicklung dar. Ausgehend von den Fallbeispielen soll eine integrative Produkt- und Verfahrensoptimierung von Bauwerks-Naturierungen zur straßenverkehrsinduzierten Emissionsminderung durchgeführt werden.

Die im Verlauf der Modellbildung zu digitalisierenden Parameter werden rasterorientiert zugeordnet. Diese Parameter werden einer Optimierung unterzogen, um hieraus die Daten zu generieren, die für das Prognosemodell **ANISTREET** für Naturierungsmaßnahmen¹⁴ in Verkehrsräumen Anwendung finden sollen.

ANISTREET soll an Hand der jeweiligen Bauwerksoberflächenstruktur sowie der verschiedenen Emissions—/Immissionswirkungen und/oder wirtschaftlicher Merkmale die Präferenz-Naturierungssysteme ermitteln, welche besonders für Verkehrsflächen und Verkehrsbegleitflächen geeignet sind. Desweiteren sollen aus den berechneten Präferenzsystemen in Zusammenarbeit mit den anderen Teilprojekten die wirtschaftlichen und ökologischen Eckdaten multidisziplinär abgeleitet und interdisziplinär bewertet werden.

¹³ Animatives Visualisierungsmodul Straße. Modul des in Entwicklung befindlichen rechnergestützten interaktiven Prognostic Model Urban Ecology – *PMUE* - zur ökologisch-wirtschaftlichen Optimierung von Bauwerks-Naturierungen in urbanen Räumen

¹⁴ Technische Verfahren zur Behandlung und Gestaltung von vertikalen, geneigten und horizontalen ebenerdigen und nicht ebenerdigen Bauwerksoberflächen mit Vegetationssystemen.

Dazu sollen neben einer Paretooptimierung permutative Verfahren unter Ausnutzung der Kenogrammatik angewendet werden. Ohne den Anspruch auf Vollständigkeit zu haben nachfolgend einige wichtige Perspektivwechsel aus der Emissionsproplematik:

Emission - Verkehrsraum (Boden-Wasser-Luft) - Mensch

akustische -> thermische -> stoffliche -> radiative -> optische.....
optische -> radiative -> stoffliche -> thermische -> akustische.....
radiative -> stoffliche -> thermische -> akustische -> optische.....
stoffliche -> thermische -> akustische -> optische -> radiative.....
thermische -> akustische -> optische -> radiative -> stoffliche.....

Transmission -Verkehrsraum (Boden-Wasser-Luft) – Mensch

akustische -> thermische -> stoffliche -> radiative -> optische.....
optische -> radiative -> stoffliche -> thermische -> akustische.....
radiative -> stoffliche -> thermische -> akustische -> optische.....
stoffliche -> thermische -> akustische -> optische -> radiative.....
thermische -> akustische -> optische -> radiative -> stoffliche.....

Immission - Verkehrsraum (Boden-Wasser-Luft) – Mensch

Immission-Verkehrsraum (Boden-Wasser-Luft) – Mensch

akustische -> thermische -> stoffliche -> radiative -> optische.....
optische -> radiative -> stoffliche -> thermische -> akustische.....
radiative -> stoffliche -> thermische -> akustische -> optische.....
stoffliche -> thermische -> akustische -> optische -> radiative.....
thermische -> akustische -> optische -> radiative -> stoffliche

Emission_{n1-n5} – Transmission_{n1-n5} – Immission_{n1-n5} –
Bauwerks-Naturierung_{n1-n5} – Mensch_{n1-n}

.....