

LERNBAUSTEIN ZUR RECHNERISCHEN ABSCHÄTZUNG DER VERKEHRSBEDINGTEN SCHADSTOFFKONZENTRATION IM MIKROSKALIGEN BEREICH

J. BAUMÜLLER¹, M.G. MÜLLER², TH. FLASSAK³, H. FRANTZ³ und A. LOHMEYER³

¹*Amt für Umweltschutz, Abteilung Stadtklimatologie, Landeshauptstadt Stuttgart, Deutschland*

²*Institut für Landschaftsplanung und Ökologie, Universität Stuttgart, Deutschland*

³*Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe, Deutschland*

1 EINLEITUNG

Für die Beurteilung von städtebaulichen Entwicklungen und Eingriffen ist das Verstehen der komplexen stadtklimatologischen und lufthygienischen Zusammenhänge eine wichtige Voraussetzung (Baumüller et al. 1998). Zunehmend werden für die effektive Vermittlung solcher komplexer Sachverhalte multimediale Systeme eingesetzt. Der hier vorgestellte Lernbaustein befasst sich mit der Modellierung verkehrsbedingter Schadstoffkonzentrationen.

2 RAHMENBEDINGUNGEN

Die Entwicklung des Lernbausteins „traffic pollution modeling“ (sso-tpm) wird durch das Förderprogramm self-study online¹ (sso) der Universität Stuttgart gefördert. Inhaltlich und technisch ist das Modul in die Struktur der im Rahmen des BMBF-Projekt gimolus² aufgebauten gimolus Lernplattform eingebunden. Ziel des Projektes gimolus ist die Entwicklung fachbezogener naturwissenschaftlicher Lerneinheiten und Lernmodule. Auf der Basis des Internets werden multimediale Präsentations- und Kommunikationstechniken und Geo-Informationssysteme (GIS) zur Aufbereitung und Ergänzung der Lehre genutzt. Der Rahmen zur Integration, Verknüpfung und Präsentation der Lernmodule wird in Form einer internetbasierten virtuellen Landschaft geschaffen.

Der Lernbaustein „tpm“ ist innerhalb der hierarchisch aufgebauten Themenstruktur von gimolus der Lerneinheit „Stadtklima und Luftreinhaltung“ zugeordnet. Er baut auf dem bereits bestehenden self-study online Modul „urban climate modeling“ (sso-ucm) auf und bietet eine weitere Vertiefung zur Modellierung verkehrsbezogener Luftschadstoffbelastungen.

Der Lernbaustein wird in Zusammenarbeit der Abteilung Stadtklimatologie des Amtes für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart mit dem Institut für Landschaftsplanung (ILPÖ) der Universität Stuttgart und dem Ingenieurbüro Lohmeyer, Karlsruhe, erstellt.

3. DAS ONLINE-INFORMATIONSSYSTEM-STUTT GART

Die technische Basis des Lernbausteins ist die modifizierte Anwendung des Online-Informationssystems On-ISY-S (Online-Informationssystem-Stuttgart, www.stadtklima-stuttgart.de). Dieser Rechenkern wurde für die Entwicklung des Moduls leicht modifiziert und in eine GIS-Oberfläche eingebunden.

Mit dem Programm On-ISY-S werden stündlich für ein 800 m x 1250 m großes Gebiet der Stuttgarter Innenstadt (siehe Abbildung 1) Stundenmittelwerte der bodennahen Stickstoffdioxid-Konzentrationen (NO₂) berechnet und die Ergebnisse im Internet grafisch dargestellt.

¹ self-study online: Rahmenprogramm der Universität Stuttgart zum Aufbau von eLearning (weitere Informationen unter www.campus-online.uni-stuttgart.de/self-study/index.html)

² gimolus: GIS- und Modellgestützte Lernmodule für umweltorientierte Studiengänge. Verbundprojekt im Rahmen des BMBF-Förderprogrammes „Neue Medien in der Bildung“ (weitere Informationen unter www.gimolus.de)

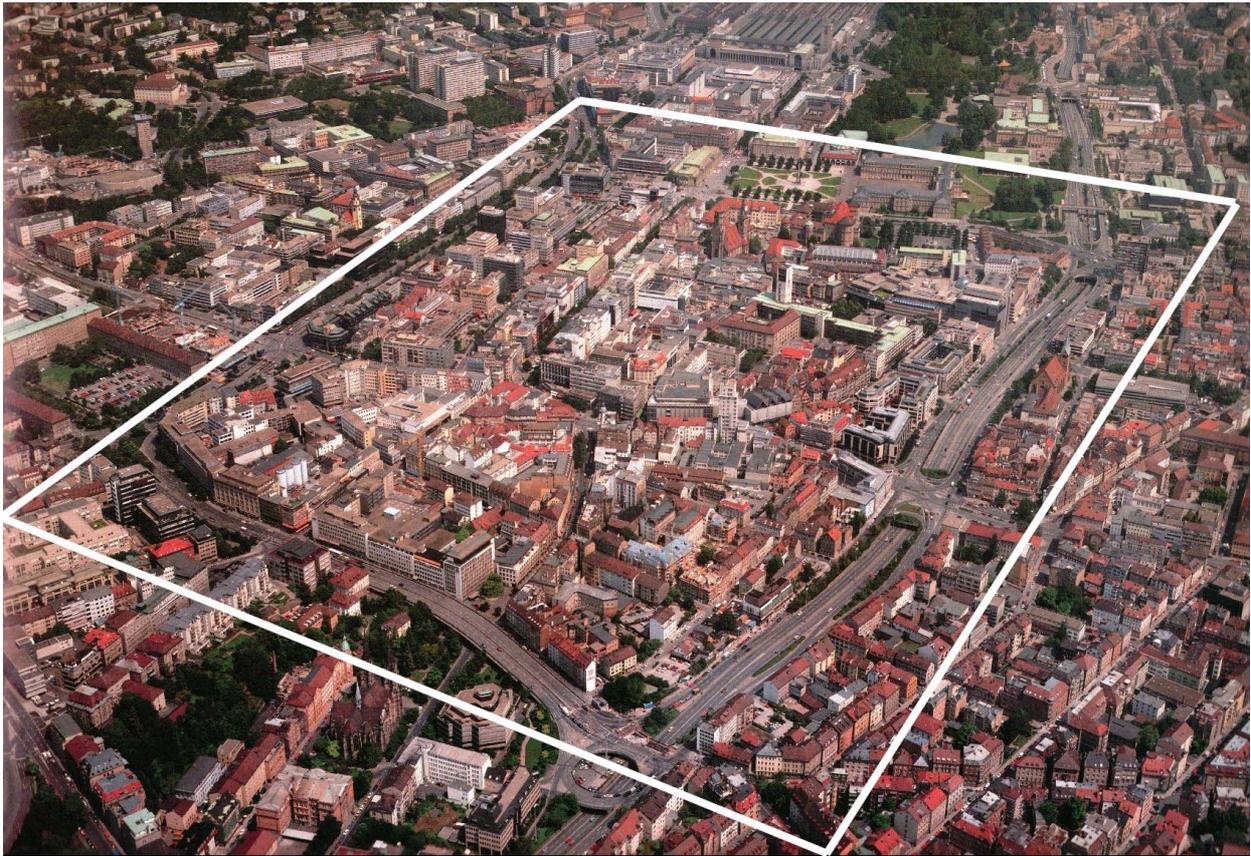


Abbildung 1: Das Untersuchungsgebiet

Das Modell On-ISK-S wurde von der Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG (www.lohmeyer.de) entwickelt und basiert auf Berechnungen mit dem Modell MISKAM (MIkroSkaliges Klima- und AusbreitungsModell) (Eichhorn 1989) und Online-Messwerten von NO, NO₂, Lufttemperatur, Windrichtung und -geschwindigkeit. Da da im vorliegenden Fall die Messstation Stuttgart-Zentrum des Amtes für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart im Berechnungsgebiet liegt, werden die dort gemessenen Daten verwendet. Für andere Gebiete in der Stadt ist es möglich Online-Windfeldberechnungen heranzuziehen (www.stadtklima-stuttgart.de/index.php?online-windfeld).

Aktuell gemessene Verkehrszahlen stehen bisher nicht zur Verfügung und gehen deshalb noch nicht in das Modell ein. Stattdessen basieren die Berechnungen auf typisierten Emissionstages- und -wochengängen.

Im Modell werden die Temperaturabhängigkeit des Kaltstartanteils und die fahrzeugerzeugte Turbulenz berücksichtigt. Zudem wurde ein Ansatz entwickelt der, die vor allem bei kleinen Windgeschwindigkeiten verstärkt auftretenden, Windrichtungsfluktuationen berücksichtigt. Dabei werden zusätzlich zur herrschenden Hauptwindrichtung auch die Nebensektoren mit einem windgeschwindigkeitsabhängigen Gewicht belegt und berücksichtigt. Die Stickoxid-Konversion (NO → NO₂) wird direkt aus Online-Messwerten berechnet. Als Stickoxid-Quelle wird nur der Fahrzeugverkehr berücksichtigt. Zusätzlich dient die an der Station Stuttgart-Zentrum gemessene NO₂-Konzentration als Hintergrundkonzentration.

Die Berechnung mit dem dreidimensionalen Modell MISKAM für das vorgegebene Gebiet (ca. 1 km²) benötigt lange Rechenzeiten. Zur Berechnung der Immissionsverteilung wurden deshalb für 36 Windrichtungen und für drei Straßenkategorien Immissionsfelder für eine mittlere Emissionssituation für NO_x und für eine Windgeschwindigkeit vorausberechnet (108 Rechnungen). Die aktuelle Immissionsverteilung ergibt sich dann aus diesen mittleren, mit MISKAM berechneten Immissionsfeldern durch Entnormierung und additive Überlagerung. Hierbei geht die vorgegebene Windgeschwindigkeit und -richtung, die parametrisierte Emission sowie die NO-NO₂-Konversion ein. Bei niedrigen Gesch-

windigkeiten werden nicht nur Immissionsfelder der aktuellen Windrichtung, sondern auch von Nebensektoren verwendet. Hierbei fließen Forschungsergebnisse ein, die im Rahmen des EU-Forschungsprojektes TRAPOS (<http://www.dmu.dk/atmosphericenvironment/trapos>) gefunden wurden.

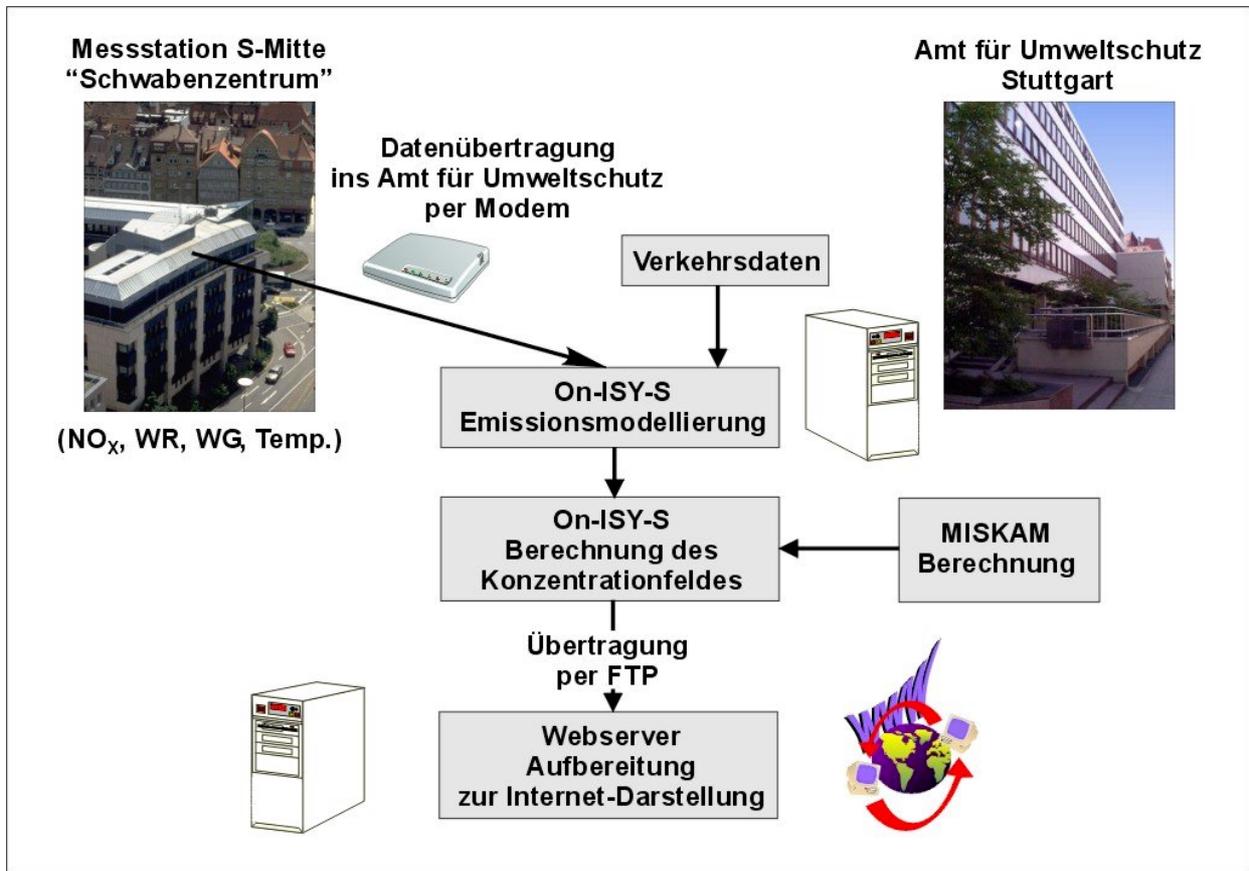


Abbildung 2: Ablaufschema der Online Schadstoffberechnung

Auf Grund von mehreren Vereinfachungen, wie beispielsweise den typisierten Emissionstagesgängen oder einem vereinfachten Rechengitter (die Auflösung des Rechenmodells beträgt 5m), hat dieses Berechnungsverfahren derzeit den Charakter eines Abschätzmodells. Das im Internet dargestellte Ergebnis zeigt also nicht die wirkliche Ist-Situation, sondern eine sich im Jahresmittel zu der jeweiligen Stunde bei den aktuellen meteorologischen Verhältnissen einstellende Verteilung der NO_2 -Konzentrationen. Samstage, Sonntage und Ferientage werden durch entsprechende Emissionstagesgänge berücksichtigt.

Das Modell ist so konzipiert, dass neue Modellansätze zur Berechnung von Stundenwerten einfach integriert werden können. In Zukunft ist geplant, innerhalb des Modellgebietes eine online angebundene Verkehrsmessstelle zu betreiben, die Daten dem Modell zur Verfügung zu stellen und auf dieser Basis eine Emissionsmodellierung durchzuführen. Das Modell lässt sich leicht auf weitere Modellgebiete übertragen, in denen meteorologische Daten sowie Schadstoffkonzentrationen und Verkehrszahlen gemessen werden und online zur Verfügung stehen.

Das für die Online-Anwendung entwickelte Programm berechnet die Schadstoffbelastungen für jede Stunde. Rechenzeiten von einigen Minuten sind daher unproblematisch. Für den Einsatz im Lernbaustein war eine Optimierung der Rechenzeit notwendig, da bei Internet-Anwendungen in der Regel nur sehr kurze Antwortzeiten toleriert werden.

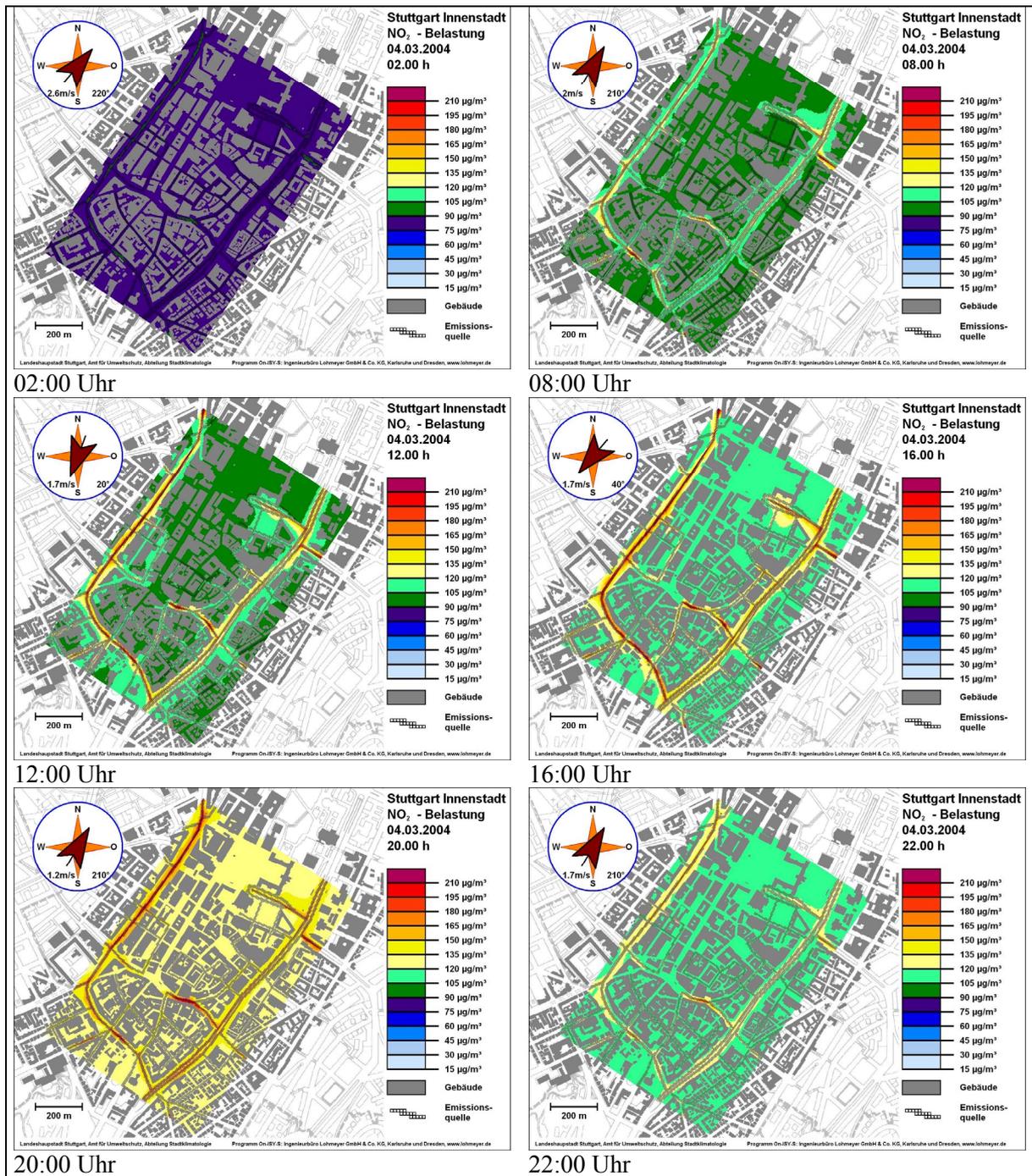


Abbildung 3: Berechnungsergebnisse aus On-ISY-S vom 04.03.04

In Abbildung 3 sind die für den 04. März 2004 simulierten Schadstofffelder für verschiedene Uhrzeiten dargestellt. Man erkennt ein Ansteigen der Konzentration mit Einsetzen des Berufsverkehrs in den Morgenstunden (8:00 Uhr). Um 20:00 Uhr werden im vorliegende Fall die höchsten Schadstoffkonzentrationen erreicht. Dies hängt zum Einen von den entsprechenden Verkehrsmengen ab, aber auch von den unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen. An den Windrichtungen ist zudem ein Berg-Talwindssystem mit nächtlichen Windrichtungen aus Südwest und den tagsüber vorherrschenden nordöstlichen Windrichtungen zu erkennen.

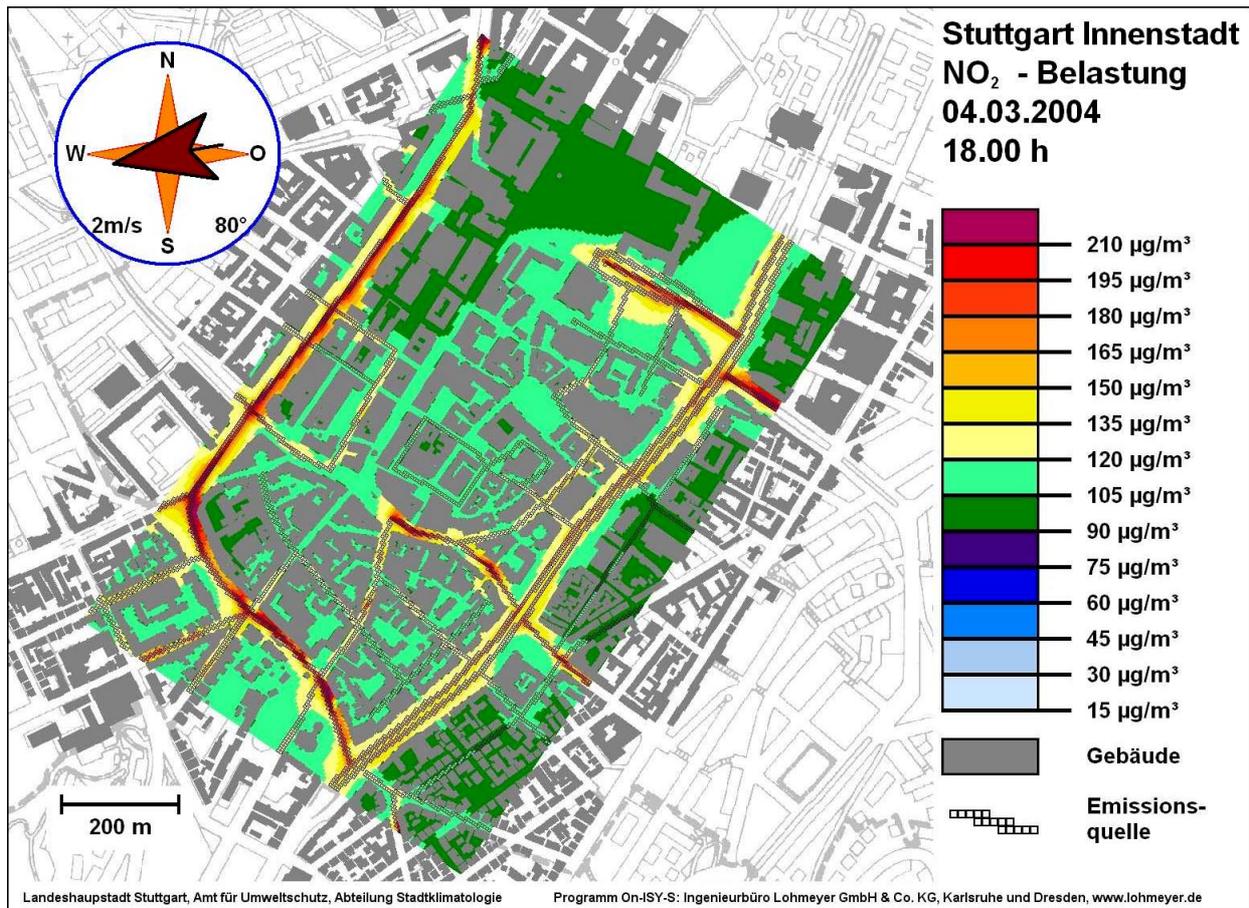


Abbildung 4: Ausbreitungssituation mit verlagerten Schadstoffbelastungen

In Abbildung 4 ist die Ausbreitungssituation für 18:00 Uhr dargestellt. Der Wind kommt zu dieser Zeit aus östlicher Richtung. Die Schadstoffkonzentration der am westlichen Rand des Untersuchungsgebietes gelegenen Hauptverkehrsstraße wird durch die hinter den Gebäuden auftretende Leeschlepe, entgegen der großräumigen Windrichtung, an die östliche Straßenseite verlagert.

4. UMSETZUNG ALS LERNBAUSTEIN

Bei der Umsetzung des Lernbausteins ist zwischen der technischen und der didaktischen Entwicklung zu unterscheiden. Technisch besteht der Lernbaustein aus der Komponente On-ISO-S, der GIS-Anwendung und den Inhaltsseiten in XML. Für die didaktische Aufbereitung der Inhalte ist insbesondere die Einbettung in die Lehre zu berücksichtigen.

4.1 DIDAKTISCHES KONZEPT

Das Modul "sso-tpm" gehört innerhalb der self-study online-Struktur zum Cluster Übungsmodulare. Ziel des Übungsmoduls ist die Ergänzung der bestehenden Studiengänge mit Selbststudiumsmaterialien nach dem Anreicherungsprinzip. Das Modul ist damit eng an bestehende Vorlesungen und Seminare gekoppelt. Die inhaltliche Einführung in die Thematik und erste Hinweise zur Bedienung des Systems werden somit bereits in den Lehrveranstaltungen gegeben. Im Lernbaustein wird dennoch ein kurzer inhaltlicher Einstieg in die Thematik präsentiert. Weiterführende Informationen werden über Literatur- und Link-

listen zur Verfügung gestellt. Üblich ist auch die Verlinkung von Vorlesungsscripten und Anleitungen im pdf-Format.

Für die Verankerung in der Lehre werden in das Lernmodule zwei bis drei Verständnisaufgaben integriert. Diese Aufgaben dienen der vertieften Einarbeitung in die Thematik und sollen die Bearbeitung der Lernmodule prüfbar machen. Für die Beantwortung der Aufgaben stehen in der Anwendung Formulare zur Verfügung. Durch den offenen und freiwilligen Charakter von Selbstlerneinheiten muss an dieser Stelle jedoch sehr stark auf die Eigeninitiative und die Motivation der Studierenden vertraut werden.

Das Lernmodul "tpm" ist der Lerneinheit "Stadtklima und Luftreinhaltung" zugeordnet. Die bereits bestehenden Inhalte dieser Lerneinheit werden im Rahmen der hier beschriebenen Entwicklung umstrukturiert. Auf der Basis einer inhaltlichen Einführung zur Thematik Stadtklima und Luftreinhaltung folgen dann zwei technische Lernmodule zur Modellierung von Luftschadstoffkonzentrationen: das bereits realisierte Screeningmodell zu verkehrlichen Immissionsbelastungen auf der Basis von MluS 02 (2002) und das aufgezeigte Modul . Weitere Module u.a. zur Berechnung von Lärmbelastungen sind in Planung. Die Abbildung 5 bietet einen ersten Eindruck zum Layout des neuen gimolus-Lernmoduls.

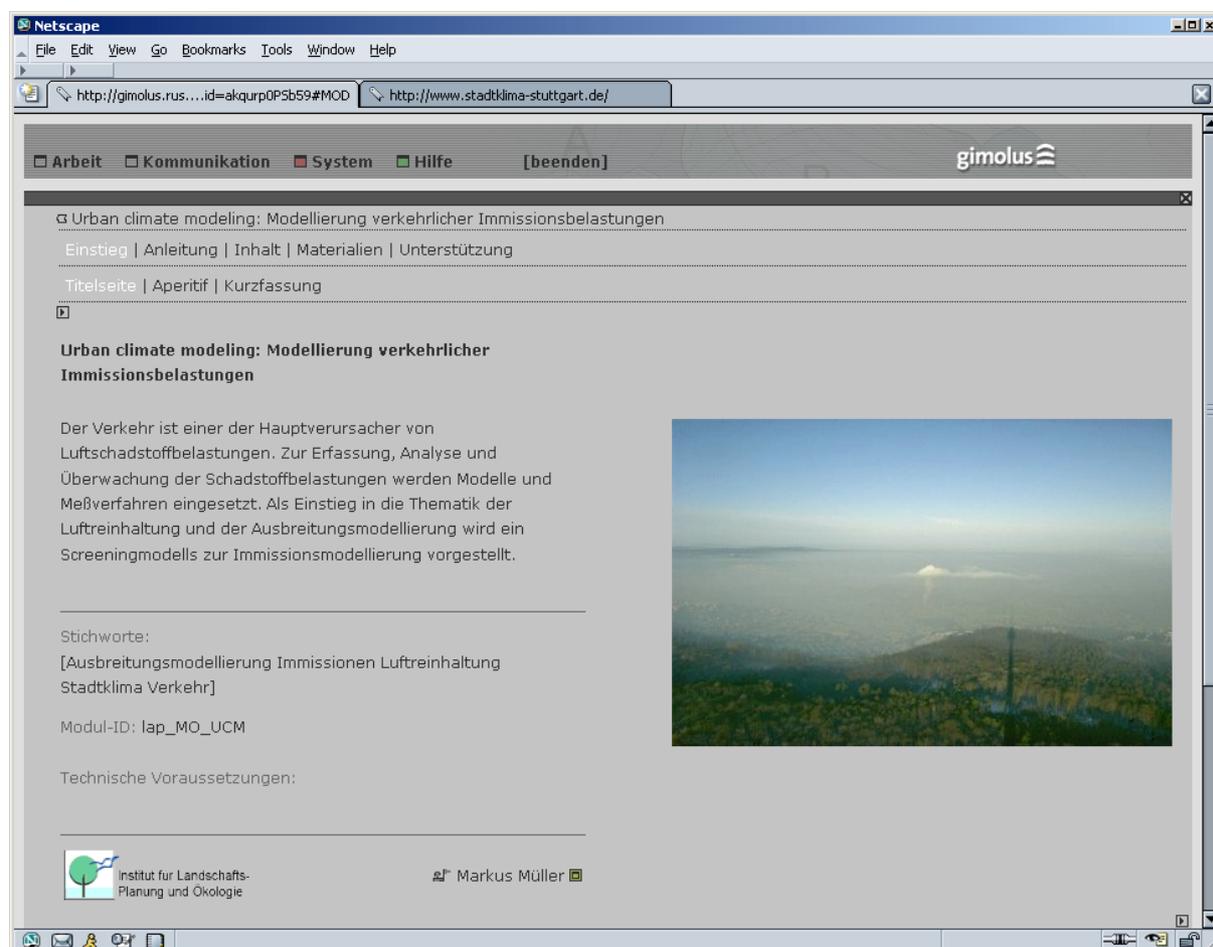


Abbildung 5: Layout und Inhaltsstruktur des Lernbausteins

4.2 TECHNISCHE UMSETZUNG

Das Modul ist in die Struktur der gimolus Plattform (siehe Abbildung 6) eingebunden. Die Plattform basiert auf einer Kombination von GIS, Datenbanken sowie client- und serverseitig interpretierten Skripten. Das GIS-Framework, das auf den ESRI-Produkten ArcSDE, ArcIMS und ArcObjects basiert, und die in einem Modulservers abgelegten Lernmodule bilden hierbei die technische Basis des gimolus-

Systems. Zentrales und verbindendes Element der gimolus Module ist die virtuelle Landschaft. Verwaltet werden die Geometrien und Attributdaten der virtuellen Landschaft durch ArcSDE 8.1 als eine Datenbank auf dem MS SQL Server (Version 7).

Die Entwicklung der Inhaltsseiten erfolgt auf der Basis von XML. Verschiedene für das Projekt gimolus entwickelte DTD (Document Type Definition) dienen hierbei als Basis für die Struktur der XML-Dokumente. Die in XML entwickelten Inhalte werden dann zu html-Dateien geparkt. Mit der Erstellung der html-Dateien werden zugleich Glossar-begriffe, Literaturzitate und weitere Quellen in einer zentralen Datenbank abgelegt.

Für weitere Erläuterungen zur technischen Infrastruktur von gimolus, insbesondere zum Modulserver und zur GIS-Infrastruktur des Projektes sei auf Tandjung und Stobbe (2004) sowie auf Müller und Vennemann (2004) verwiesen.

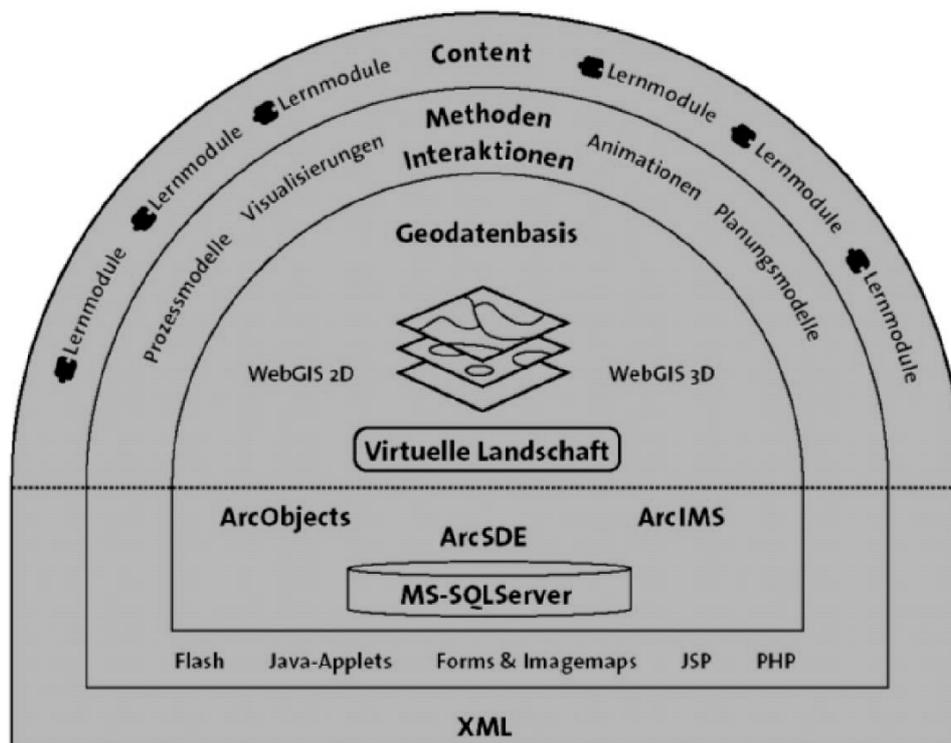


Abbildung 6: Komponenten des gimolus-Systems (Müller 2004)

4.3 AUFBAU UND BEDIENUNG DER GIS-OBERFLÄCHE

Von zentraler Bedeutung für die Entwicklung des vorliegenden Lernmoduls ist die Verfügbarkeit von GIS-Funktionen. Aufgrund des stark interaktiven Charakters der Anwendung war eine Umsetzung des Lernbausteins als WebGIS-Applikation nicht möglich. Die Entwicklung der GIS-Komponente erfolgte daher direkt auf dem Produkt ArcGIS der Firma ESRI. Die Systementwicklung verwendet die Programmiersprache VisualBasic und das ESRI Objektmodell ArcObjects.

Die GIS-Komponente wird in der Folge auf Basis der Windows Terminal-Server-Technologie mit Citrix Metaframe im Internet zur Verfügung gestellt. Theoretisch sind über dieses System alle Funktionen des GIS und damit auch der Zugriff auf die Dateistruktur des Servers möglich. Durch eine starke Anpassung der Software, v.a. der GIS-Oberfläche, und durch weitere Sicherheitsmaßnahmen zur Sperrung des Dateizugriffs werden die Funktionalitäten des Systems auf die für die Bearbeitung des Lernmoduls notwendigen Funktionalitäten reduziert. Das Lernmodul ist aufgrund lizenzrechtlicher Bestimmungen und aufgrund der hohen Rechenanforderungen an den Server auf einen kleinen Benutzerkreis, üblicherweise die Teilnehmer eines Seminars oder einer Vorlesung, begrenzt.

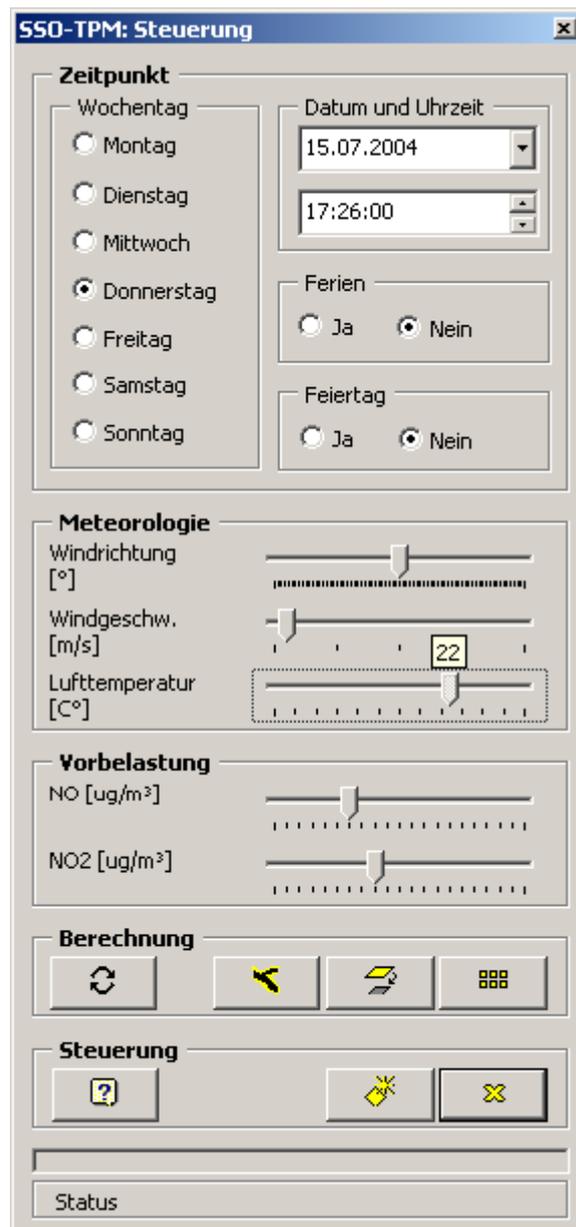


Abbildung 7: Screenshot des zentralen Bedienelements

Das Modell kann nach einer kurzen inhaltlichen Einführung und nach einigen Vorgaben und Hinweisen zur Bedienung der GIS-Komponente aus dem Internet heraus gestartet werden. Mit dem GIS-Projekt werden die Datenebenen Strassennetz und Bebauung geladen.

Die Oberfläche der GIS-Anwendung bietet einige Grundfunktionalitäten wie Zoom und Pan und Funktionen zum Verschieben sowie zum Ein-/Ausblenden von Datenebenen und zur Auswahl von Objekten in der Karte. Das in Abbildung 7 dargestellte zentrale Bedienelement ermöglicht die Einstellung der folgenden Parameter:

- Datum und Uhrzeit
- Wochentag
- Feiertage und Ferien
- Temperatur

- Windgeschwindigkeit und –richtung
- Vorbelastung von NO und NO₂

Über dieses zentralen Bedienelement werden die Eingabeparameter spezifiziert und zur Berechnung an die On-ISK-S-Komponente übergeben. Nach der Berechnung werden die Ergebnisdaten im GIS visualisiert. Für den Vergleich von Berechnungsvarianten stehen einige Grundfunktionalitäten des GIS und weiter speziell für die Anwendung programmierte Werkzeuge zur Verfügung.

5. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Der Einsatz des Lernmodul „traffic pollution modeling“ (sso-tpm) ist für das Wintersemester 2004 geplant. Weitere Lernmodule, insbesondere zur Berechnung von Verkehrslärm, sind in Vorbereitung. Bei besonderem Interesse kann eine befristet Zugangsberechtigung zum Modul “tpm” erteilt werden. Wenden sie sich dazu bitte an Markus Müller vom Institut für Landschaftsplanung und Ökologie der Universität Stuttgart (mmu@ilpoe.uni-stuttgart.de).

LITERATUR

Baumüller J., Hoffmann U., Reuter U. (1998): Städtebauliche Klimafibel –Hinweise für die Bauleitplanung-. Hrsg.: Wirtschaftsministerium Baden Württemberg, Stuttgart (<http://www.Staedtebauliche-Klimafibel.de>).

Eichhorn, J. (1989): Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen mikroskaligen Stadtklima-Modells, Mainz, Universität Mainz.

MluS 02 (2002): Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen mit und ohne oder mit lockerer Randbebauung, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln.

Müller, M. (2004a): Projektüberblick. Müller, M. und Kaule, G. (Hrsg.): E-Learning mit GIS- und Modellanwendungen, Ergebnisse des Projektes gimolus, Heidelberg, Wichmann Verlag, 3-10.

Müller, M. und Vennemann, K. (2004b): Müller, M. und Kaule, G. (Hrsg.): E-Learning mit GIS- und Modellanwendungen, Ergebnisse des Projektes gimolus, Heidelberg, Wichmann Verlag, 35-52.

Tandjung, K. und Stobbe, J. (2004): Müller, M. und Kaule, G. (Hrsg.): E-Learning mit GIS- und Modellanwendungen, Ergebnisse des Projektes gimolus, Heidelberg, Wichmann Verlag, 13-34.