

# Modelle in der Raumplanung II

Klaus Spiekermann  
Michael Wegener

12  
Umwelt-  
auswirkungen  
14. Juli 2009



Lehrveranstaltung "Modelle in der Raumplanung" Sommer 2009

## Bedeutung Umweltfaktoren

Umweltfaktoren werden aus verschiedenen Gründen **zunehmend wichtiger für die räumliche Planung** auf der städtischen und regionalen Ebene:

- aus **normativen** Gründen (Ökologie, Gerechtigkeit),
- zur Einhaltung staatlicher **Verordnungen und Gesetze**,
- für **Standortentscheidungen** von Haushalten und Unternehmen.

3

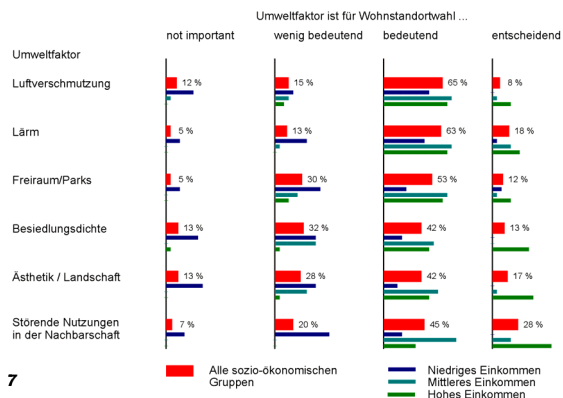
## Umweltgesetzgebung

Die Umweltgesetzgebung reicht in viele Bereiche städtischer Entwicklung hinein, z.B. durch:

- Energieverbrauchsstandards für Gebäude,
- Emissionsstandards für Fahrzeuge,
- Luftqualitätsstandards für Gebiete unterschiedlicher Nutzung,
- Lärmrichtlinien,
- Umweltverträglichkeitsprüfung, Eingriffsregelungen, Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen,
- Sektorplanung, Regionalplanung, Bauleitplanung.

5

## Umwelt als Wohnstandortfaktor



7

## Bedeutung von Umweltfaktoren

### Umweltfaktoren

Es können grundsätzlich zwei Arten von Umweltfaktoren unterschieden werden:

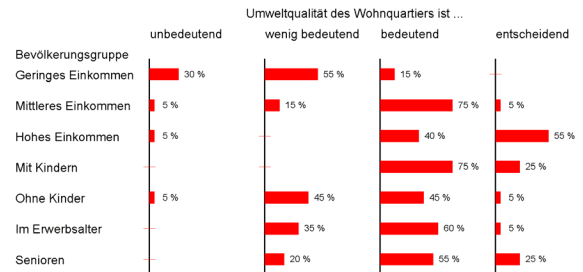
- Faktoren, bei denen der Ort der Entstehung und der Ort der Einwirkung bedeutsam sind wie **Luftverschmutzung, Verkehrslärm, Freiraum** und **Biodiversität**,
- Faktoren, bei denen der Ort der Entstehung und der Ort der Einwirkung nicht bedeutsam sind. Das gilt vor allem für **Treibhausgase** (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>).

In dieser Vorlesung werden nur Umweltfaktoren der ersten Gruppe behandelt.

Zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs siehe zweite Vorlesung im Sommersemester.

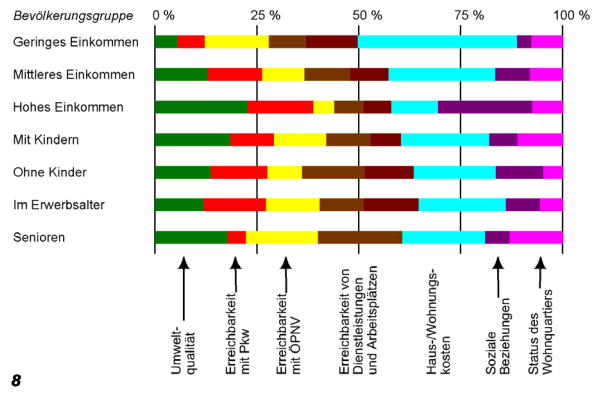
4

## Umwelt als Wohnstandortfaktor



6

## Umwelt als Wohnstandortfaktor



8

## Umweltmodellierung (Auswahl)

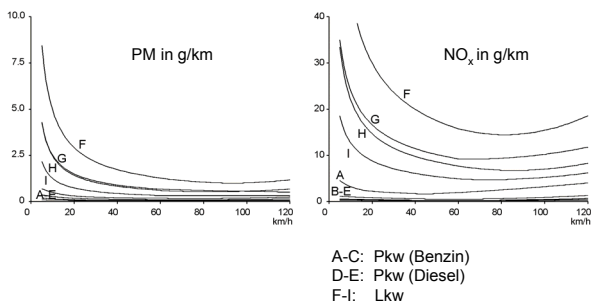
### Umweltmodelle

Umweltmodelle existieren für alle relevanten Umweltbereiche, Beispiele sind:

- Flächenverbrauch,
- Zerschneidung, Biodiversität,
- Energieverbrauch,
- Schadstoffemissionen Verkehr und stationäre Quellen,
- Schadstoffausbreitung,
- Lärmemissionen und -ausbreitung,
- Oberflächen- und Grundwasserströme, Meeresströme,
- Waldbrände, Überschwemmungen,
- Wind, Wetter, Klima,
- ...

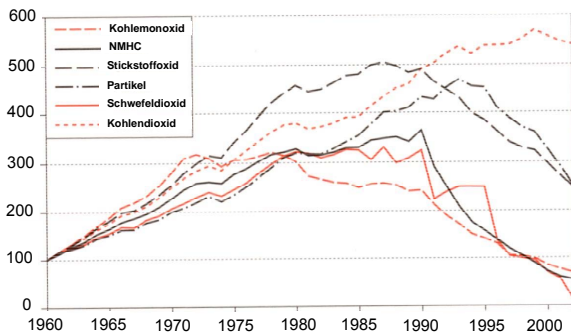
11

### Geschwindigkeitsabhängige Emissionsfunktionen



13

### Emissionen Pkw und Lkw (%), 1960-2002



Bearbeitet nach SRU 2005, S. 28

NMHC = flüchtige Kohlenwasserstoffe

15

### Vom Monitoring zur Modellierung

Auf allen räumlichen Ebenen hat sich die Umweltberichterstattung fest etabliert. Mittels Indikatoren für einzelne Umweltbereiche oder mittels umfangreicher **Indikatorensysteme** zur Abbildung des Standes der Nachhaltigkeit werden **Zustand und Entwicklung der Umwelt** abgebildet. Ein Teil der Daten für dieses Monitoring lässt sich nicht empirisch ermitteln, sondern wird modellgestützt berechnet (z.B. Emissionen).

In einigen Umweltbereichen werden modellgestützte Prognosen der zukünftigen Entwicklung erstellt (v.a. zum Klimawandel). Allerdings **fehlt eine integrierte Umweltmodellierung** auf der stadtreionalen Ebene zur Abschätzung zukünftiger Entwicklungen und Wirkung von Maßnahmen.

10

### Emissionen des Straßenverkehrs

Emissionsmodelle des Straßenverkehrs beruhen auf empirisch ermittelten **Abgas-Emissionsfaktoren**, die die Emissionen eines einzelnen Fahrzeugs kennzeichnen.

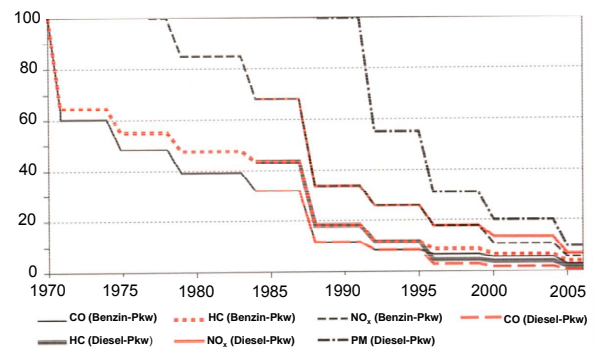
In einfachen Emissionsmodellen werden Emissionsfaktoren benutzt, die den **durchschnittlicher Schadstoffausstoß** je km für den durchschnittlichen Pkw bzw. LKW abbilden.

In komplexeren Emissionsmodellen werden **differenzierte Emissionsfunktionen** benutzt, die unterscheiden nach:

- Kaltstartphase und normaler Betrieb,
- Geschwindigkeit und/oder Fahrmodus,
- Fahrzeugtyp (Emissionsstandard, Hubraum, Benzin/Diesel),
- Steigung etc.

12

### EU-Emissionsgrenzwerte (%), 1970-2007



Bearbeitet nach SRU 2005, S. 235

14

### Schadstoffausbreitung: Modelltypen

Wichtigste Modelltypen sind:

- **Statistische Modelle** (z.B. Regressionsmodelle oder neuronale Netze) basieren auf Langzeitdaten gemessener Luftqualität und beobachteten Einflussparametern.
- **Analytische Modelle** (Gaußmodelle) basieren auf einfachen Gleichungen für physikalische Gesetze und chemische Reaktionen. Die vertikale und windgetriebene horizontale Ausbreitung der emittierten Schadstoffe wird über empirisch geeichte Gaußkurven ermittelt.
- **Numerische Modelle** (insb. dreidimensionale Lagrange Modelle) beschreiben für eine Vielzahl hypothetischer Schadstoffpartikel den Pfad (Trajektorien) durch die Turbulenzen der Atmosphäre.

16

### Schadstoffausbreitung: Modellmaßstab

Schadstoffausbreitungsmodelle lassen sich nach dem Maßstab unterscheiden.

- **Mikroskalige Modelle** werden für einzelne Straßenzüge eingesetzt (z.B. Box-Modelle für "Straßencanyons").
- **Mesoskalige Modelle** werden vom Stadtteil bis zur Region benutzt.
- **Makroskalige Modelle** werden für ganze Länder oder Kontinente benutzt.

17

### Lärmemissionen

Folgende **Faktoren** sind für die Lärmemissionen relevant:

**Straßenverkehr:**

- Verkehrsstärke
- Verkehrszusammensetzung bzw. Lkw-Anteil
- Geschwindigkeiten für Pkw und Lkw
- Straßengattung, Steigung und Straßenbelag

**Schieneverkehr:**

- Zugart
- Zugfrequenzen und Zuglänge
- Geschwindigkeit
- Bremsbauart

19

### Lärmausbreitung

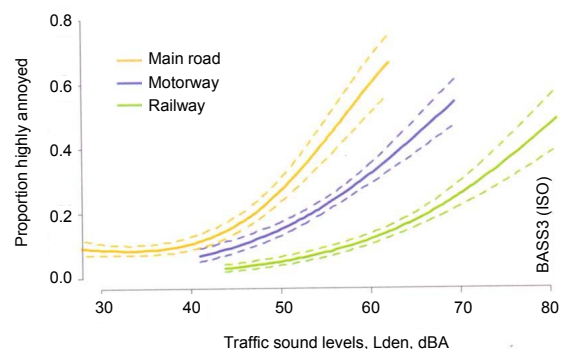
Bei ungehinderter Schallausbreitung beträgt die Abnahme bei einer Abstandsverdoppelung 6 dB(A) bei einer punktförmigen Schallquelle und 3 dB(A) bei einer linienförmigen Schallquelle.

**Einflussgrößen** bei der Immissionsberechnung sind:

- Streckenverlauf und Abstand von der Fahrbahn
- Höhenverhältnisse und Geländemorphologie,
- Hindernisse (Einfach- und Mehrfachreflexion), Flächen-nutzung, Bebauungsdichte und -höhe,
- Wind, Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchte.

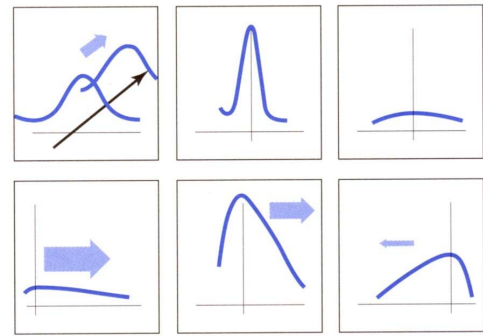
21

### Lärmbelastung



23

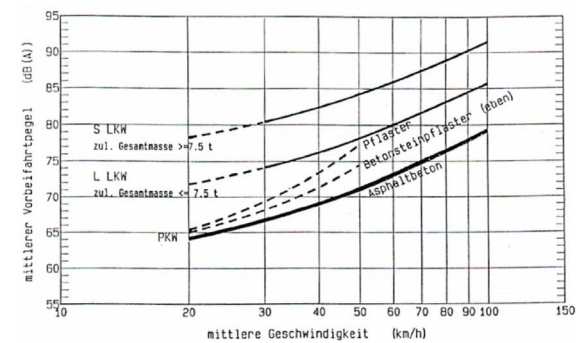
### Schadstoffausbreitung: Gaußsche Ausbreitungskurven



18

### Lärmemissionen

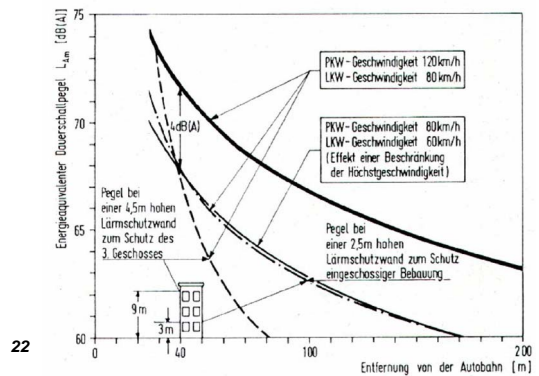
Vorbeifahrtpegel in 7,5 m Abstand



20

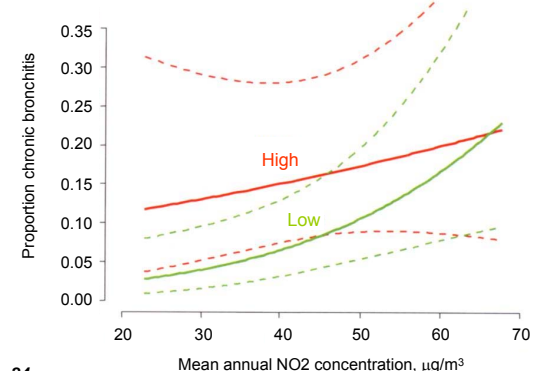
### Lärmausbreitung

Mögliche Lärmpegeländerungen



22

### Schadstoffbelastung und Gesundheit



24

## Umweltmodellierung in der Raumplanung

Bei der Umweltmodellierung in der Raumplanung wird **nicht**, wie bei den bislang in der Veranstaltung vorgestellten Modellen, das **menschliche Verhalten im Raum** modelliert. Vielmehr werden **physikalische, chemische, biologische und ökologische Prozesse** modelliert, die vielfach anthropogen beeinflusst werden.

Das Interesse liegt in der Abschätzung der **Folgen menschlichen Handelns**: einerseits auf die verschiedenen Umweltbereiche, andererseits aber auch auf die menschliche Lebensqualität (z.B. Gesundheit, Standortqualität) und menschliches Verhalten (z.B. Standortentscheidungen).

25

## Wirkungsverflechtungen

Die Beziehung zwischen Flächennutzung und Verkehr und der Umwelt andererseits ist asymmetrisch. Flächennutzung und Verkehr wirken auf viele Umweltfaktoren:

- **Ressourcen:** Energie, Wasser, Boden, Vegetation, Fauna
- **Emissionen:** Treibhausgase, Luft-, Wasser und Bodenschadstoffe, Abfall, Lärm,
- **Immissionen:** Luftqualität, Oberflächen- und Grundwasserströme, Lärmausbreitung.

Aber nur einige Umweltfaktoren beeinflussen die Flächennutzung und den Verkehr ("**environmental feedback**"):

- Luftqualität,
- Lärmpegel,
- Freiraumreichbarkeit.

27

## Probleme der Integration (1)

Bei der Integration von Umweltmodellen und Modellen zur Simulation von Flächennutzung und Verkehr treten eine Reihe von Problemen auf:

- Notwendige **Inputinformationen** für die Umweltmodelle werden von den Stadtsimulationsmodellen **nicht bereitgestellt**, da sie nicht simuliert werden, z.B.:
  - Verkehrsmodelle modellieren nur Fahrzeuggrundtypen (Pkw, Lkw, Bus, Straßenbahn etc.); Emissionsmodelle benötigen eine detaillierte **Zusammensetzung der Fahrzeugflotte** und ihre Veränderung über die Zeit.
  - Zur Modellierung von Biodiversität benötigte **Freiraumattribute** und ihre Veränderung über die Zeit sind nicht vorhanden.

29

## Probleme der Integration (3)

Den meisten existierenden Flächennutzungs- und Verkehrsmodellen **fehlt die räumliche Auflösung**, um andere Umweltwirkungen als Energieverbrauch oder Treibhausgasemissionen zu berechnen:

- **Luftausbreitungsmodelle** brauchen Punktdaten der Emissionsquellen und topographische Informationen wie Höhe und Oberflächeneigenschaften.
- **Lärmausbreitungsmodelle** brauchen Punktdaten zu den Emissionsquellen, Informationen zur Topographie und Lärmhindernissen sowie die dreidimensionale Verortung der Bevölkerung.
- **Mikroklimamodelle** brauchen kleinteilige Informationen zu den Eigenschaften von Freiräumen und bebauten Flächen.

31

## Umwelt in Stadtmodellen

### Wirkungsverflechtungen

Asymmetrische Beziehung zwischen Flächennutzung, Verkehr und Umwelt

- schwache Wirkung
- starke Wirkung
- "environmental feedback"

Cause	Effect		Resources	Emissions	Immissions
	Land use	Transport			
Land use Transport	●	●	●	●	●
Energy Water	○	○	●	●	●
Land (open space) Vegetation Wildlife Microclimate	○	○	●	●	●
Greenhouse gases Air pollution Water pollution Soil contamination Solid waste Noise	○	○	●	●	●
Air quality Surface water flows Ground water flows Noise propagation	●	●	○	○	○

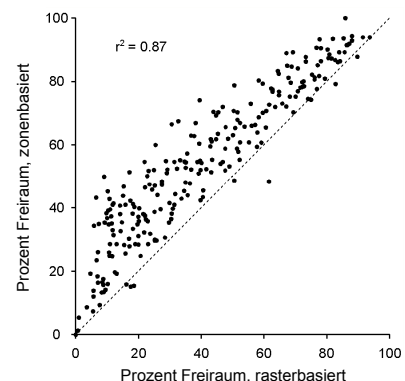
28

## Probleme der Integration (2)

- Notwendige **Inputdaten** sind nicht in der notwendigen Qualität **verfügbar** (z.B. Energie/Heizung, Emission der Flächennutzung).
- Manche Umweltbereiche werden **nicht beeinflusst von den Politiken**, die von den Stadtsimulationsmodellen behandelt werden können.
- Viele Stadtsimulationsmodelle sind **nicht GIS-integriert**, die Topologie wird nur über Verkehrsnetze abgebildet.
- Die **räumliche Auflösung** der Zonensysteme ist zu grob, um kleinräumig wirksame Effekte zu modellieren (siehe nächste Folie).
- "**Environmental Feedback**" ist daher in den Stadtsimulationsmodellen **nicht implementiert**.

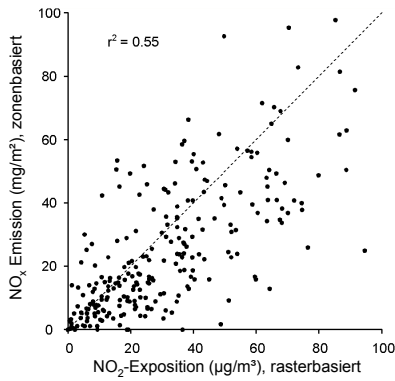
30

## Zonen- und rasterbasierte Umweltindikatoren



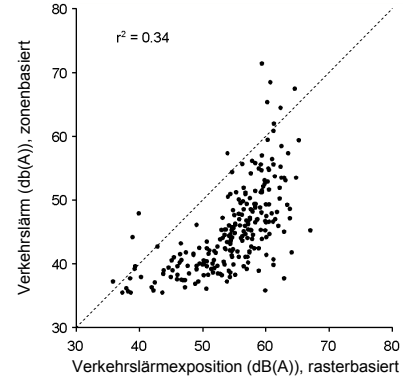
32

### Zonen- und rasterbasierte Umweltindikatoren



33

### Zonen- und rasterbasierte Umweltindikatoren



34

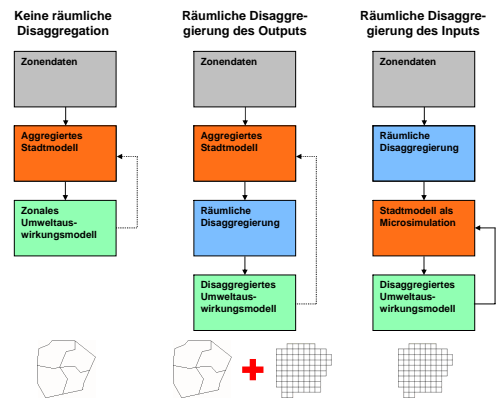
### Integration von Umweltmodellen in Stadtmodellen

Es gibt drei **Möglichkeiten**, Umweltwirkungen und "Environmental Feedback" in integrierten Stadtmodellen zu modellieren:

- **Keine räumliche Disaggregation**
  - Umweltwirkungen: können kaum modelliert werden
  - "Environmental Feedback": nur Annäherungen
- **Räumliche Disaggregation des Modelloutputs**
  - Umweltwirkungen: können modelliert werden
  - "Environmental Feedback": nur Annäherungen
- **Räumliche Disaggregation des Modellinputs**
  - Umweltwirkungen: können modelliert werden
  - "Environmental Feedback": kann modelliert werden

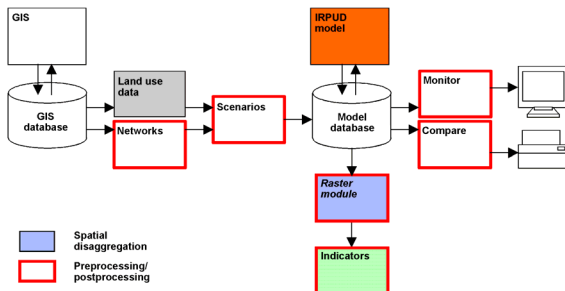
35

### Integration von Umweltmodellen in Stadtmodellen



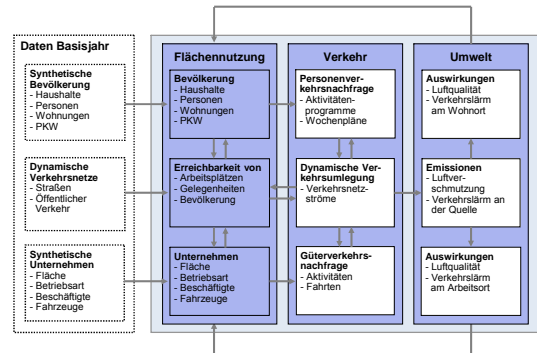
36

### Umweltmodule im IRPUD Modell



37

### Umweltmodule im ILUMASS-Modell



38

### Modellbeispiel: Rastermodul

### Rastermodul: Ziel

Das Ziel des Rastermoduls ist die **Erweiterung bestehender Stadtsimulationsmodelle**, um ihre Gebrauchsfähigkeit zur **Modellierung** und **Bewertung** von Aspekten lokaler und globaler **Nachhaltigkeit** zu erhöhen.

Das Rastermodul soll auf der Basis der Ergebnisse der bestehenden Stadtsimulationsmodelle weitere, vor allem **umweltbezogene Indikatoren** berechnen, **wenn** eine **höhere räumliche Auflösung erforderlich** ist.

Über vordefinierte Schnittstellen mit dem übergreifenden Stadtsimulationsmodell sollte sich das Rastermodul möglichst eng dort **integrieren** lassen.

40

## Rastermodul: Methode

Das Rastermodul führt ein **zweites räumliches Bezugssystem** mit Mikrostandorten ein. Hierzu wird eine kleinteilige, **rasterbasierte Abbildung des Raums** hinzugefügt, wobei gleichzeitig die zonale räumliche Organisation des aggregierten Stadtmodells beibehalten wird.

Im Rastermodul werden zonale und verkehrsnetzbezogene Attribute und Prognosen des Stadtsimulationsmodells **räumlich disaggregiert** (100 x 100 m Rasterquadrate).

Anschließend werden die **kleinräumigen Umwelt- und sozialen Wirkungen** der simulierten Politiken berechnet.

Abschließend werden die auf der Rasterebene erzielten Werte zu **zonalen** und **Gesamtindikatoren aggregiert**.

41

## Rastermodul: Inputdaten

GIS-Datenbasis:

- Zonen
- Verkehrsnetze
- Flächennutzung

Prognosen des Stadtsimulationsmodells für Zonen:

- Einwohner oder Haushalte
- Beschäftigte
- Flächennutzung oder Wohnfläche/Nutzfläche

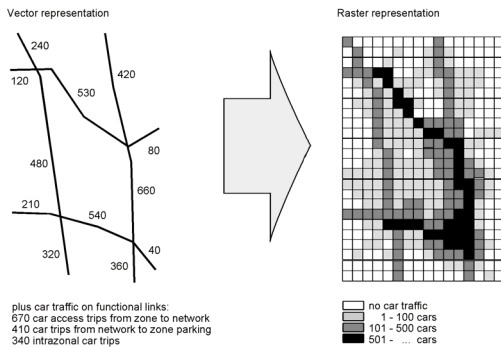
Prognosen des Stadtsimulationsmodells für Streckenabschnitte der Verkehrsnetze:

- Fahrzeuge
- Geschwindigkeit

43

## Rastermodul: Räumliche Disaggregation

### 2) Prognosen für Verkehrsnetze



45

## Rastermodul: Indikatoren

Verbrauch natürlicher Ressourcen:

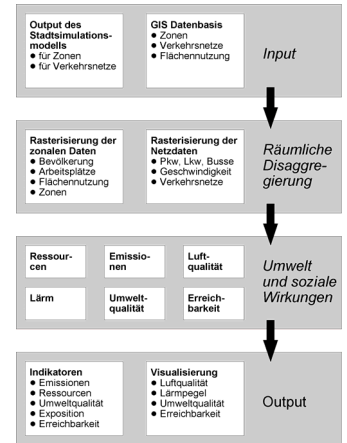
**EROT** Verbrauch mineralischer Ölprodukte  
-> Energieverbrauchsmodell (nach Copert III)

**ERLC** Bodenversiegelung

-> über empirisch ermittelten Zusammenhang von Dichte (Personen plus Arbeitsplätze) und Bodenversiegelungsgrad

47

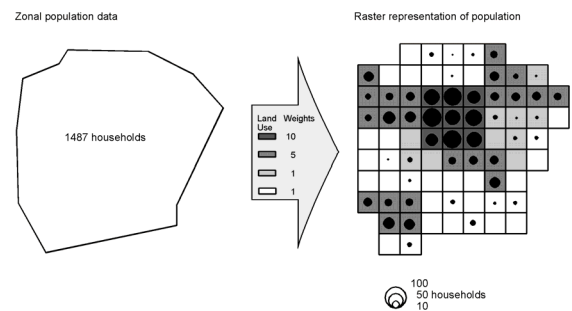
## Rastermodul: Ablauf



42

## Rastermodul: Räumliche Disaggregation

### 1) Prognosen für Zonen



44

## Rastermodul: Indikatoren

Emissionen:

**EGGT** Treibhausgase des Verkehrs (CO<sub>2</sub>-Äquivalente)

**EAAT** Acidifying gases from transport (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>)

**EAO** Flüchtige Organische Verbindungen des Verkehrs (VOCs)

- > mit detailliertem Emissionsmodell (nach MEET, Copert III)
- > mit geschwindigkeitsspezifischen Emissionsfunktionen
- > mit detaillierter Abbildung der Fahrzeugflotte für das Basisjahr und deren zukünftige Entwicklung

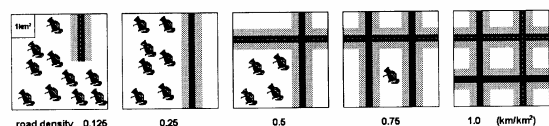
46

## Rastermodul: Indikatoren

Umweltqualität:

**EQFO** Fragmentierung des Freiraums

- > Identifizierung der Freiraumpixel
- > Ermittlung zusammenhängender Freiraumpixel
- > Berechnung der durchschnittlichen Größe zusammenhängender Freiraumpixel



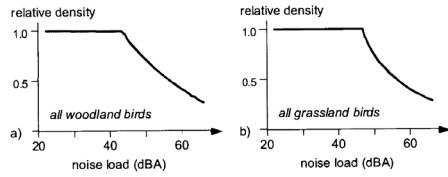
48

**Rastermodul: Indikatoren**

*Umweltqualität:*

**EQQO** Qualität des Freiraums

- > Identifizierung der Freiraumpixel ohne Lärmstörung
- > Berechnung des gesamten von Straßenlärm ungestörten Freiraums



49

**Rastermodul: Indikatoren**

*Gesundheit:*

**SHEP** Feinstaubexposition am Wohnort

**SHED** NO<sub>2</sub>-Exposition am Wohnort

**SHEN** Lärmbelastigung am Wohnort

- > Modellierung von Schadstoff- und Lärmausbreitung
- > Pixelbasierte Verschneidung von Luftqualität und Lärmniveau mit der disaggregierten Bevölkerung

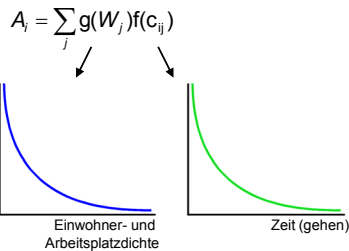
50

**Rastermodul: Indikatoren**

*Erreichbarkeit*

**SAAO** Erreichbarkeit des Freiraums

- > disaggregierte Erreichbarkeitsmodellierung
- > Suchfenster für jedes Pixel von 5 x 5 km
- > Fuszläufiges Freiraumerreichbarkeitspotential



51

**Rastermodul: Anwendung**

Das Rastermodul wurde im Rahmen des EU-Projekts PROPOLIS entwickelt. Die Ziele von PROPOLIS waren:

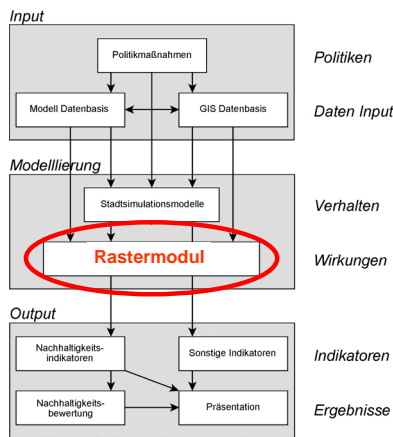
- Entwicklung und Anwendung integrierter Bewertungsmethoden für Flächennutzungs- und Verkehrspolitiken
- Definition städtischer Strategien zur Nachhaltigkeit und Demonstration ihrer langfristigen Effekte

Das Rastermodul wurde im PROPOLIS-Modellsystem in sieben europäischen Stadtregionen unter Nutzung von drei unterschiedlichen Stadtsimulationsmodulen angewandt:

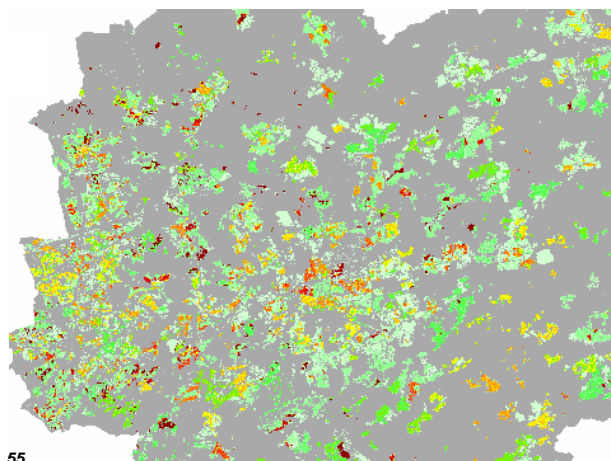
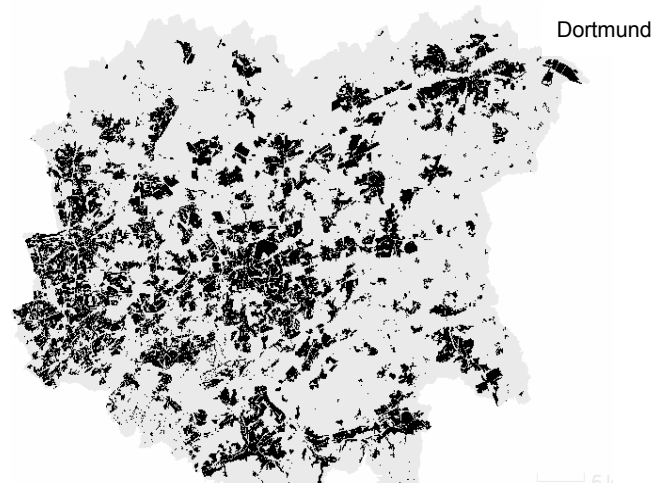
- Bilbao (MEPLAN)
- Dortmund (IRPUD)
- Inverness (TRANUS)
- Vicenza (MEPLAN)
- Brüssel (TRANUS)
- Helsinki (MEPLAN)
- Neapel (MEPLAN)

52

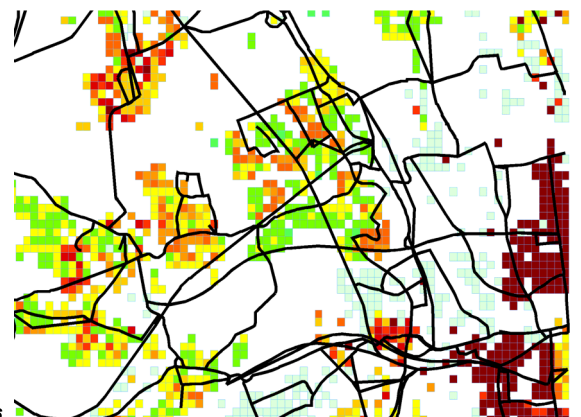
**Rastermodul im PROPOLIS Modellsystem**



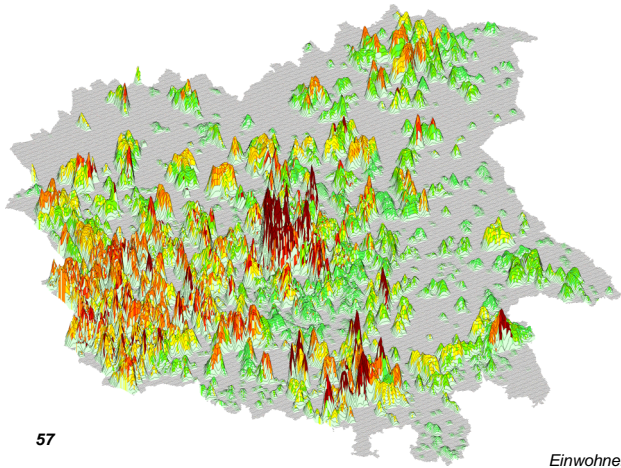
53



55

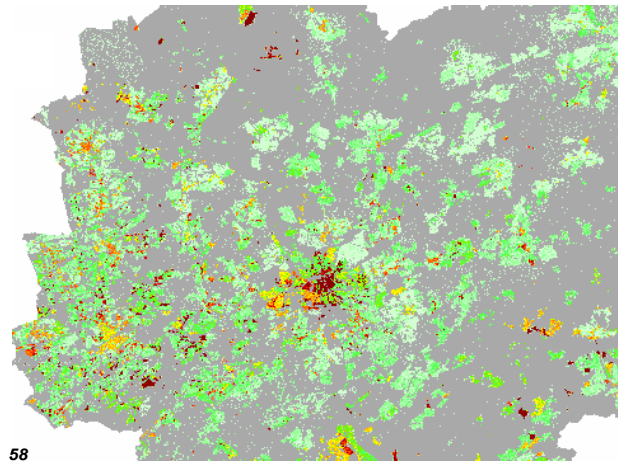


56



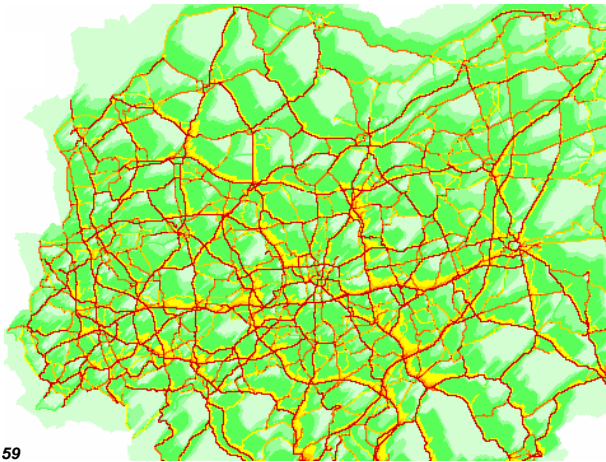
57

Einwohner



58

Beschäftigte



59

Ausbreitung der Schadstoffemissionen des Verkehrs



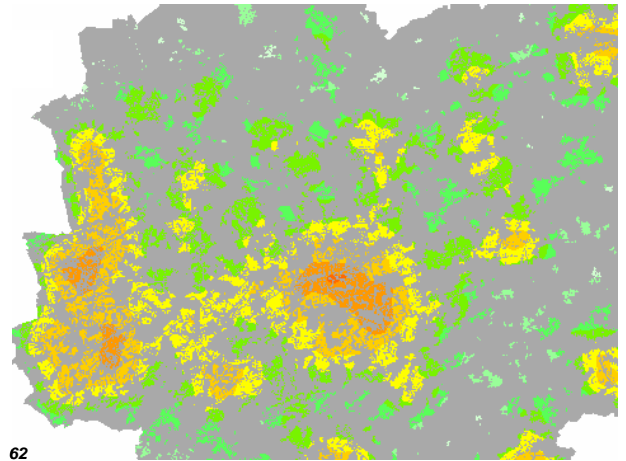
60

Verkehrslärm



61

Freiraumqualität

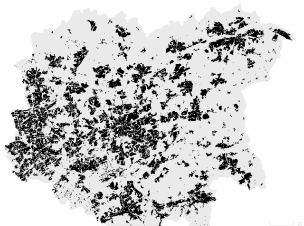


62

Fußläufige Erreichbarkeit des Freiraums

### Demonstration Rastermodul

Das Demonstrationsprogramm <RASTER\_DO> zeigt mit der Disaggregation von Zonendaten und Verkehrsnetzdaten, der Schadstoffemissions- und Ausbreitungsmodellierung, der Lärmmodellierung und der Modellierung der Freiraumqualität einen **vollständigen Lauf des Rastermoduls** für ein Jahr.



63

### Weitere Informationen

zu Emissionen und Luftqualität:  
[www.staedtebauliche-klimafibel.de](http://www.staedtebauliche-klimafibel.de)

zu Lärm:  
[www.staedtebauliche-laermfibelfel.de](http://www.staedtebauliche-laermfibelfel.de)

zum Rastermodul  
<http://www.spiekermann-wegener.de/mod/rastermod.htm>

zum PROPOLIS Projekt:  
<http://www1.wspgroup.fi/lt/propolis/>

64