



NO_x – eine Bestandsaufnahme

Prof. Dr. Rainer Friedrich

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung

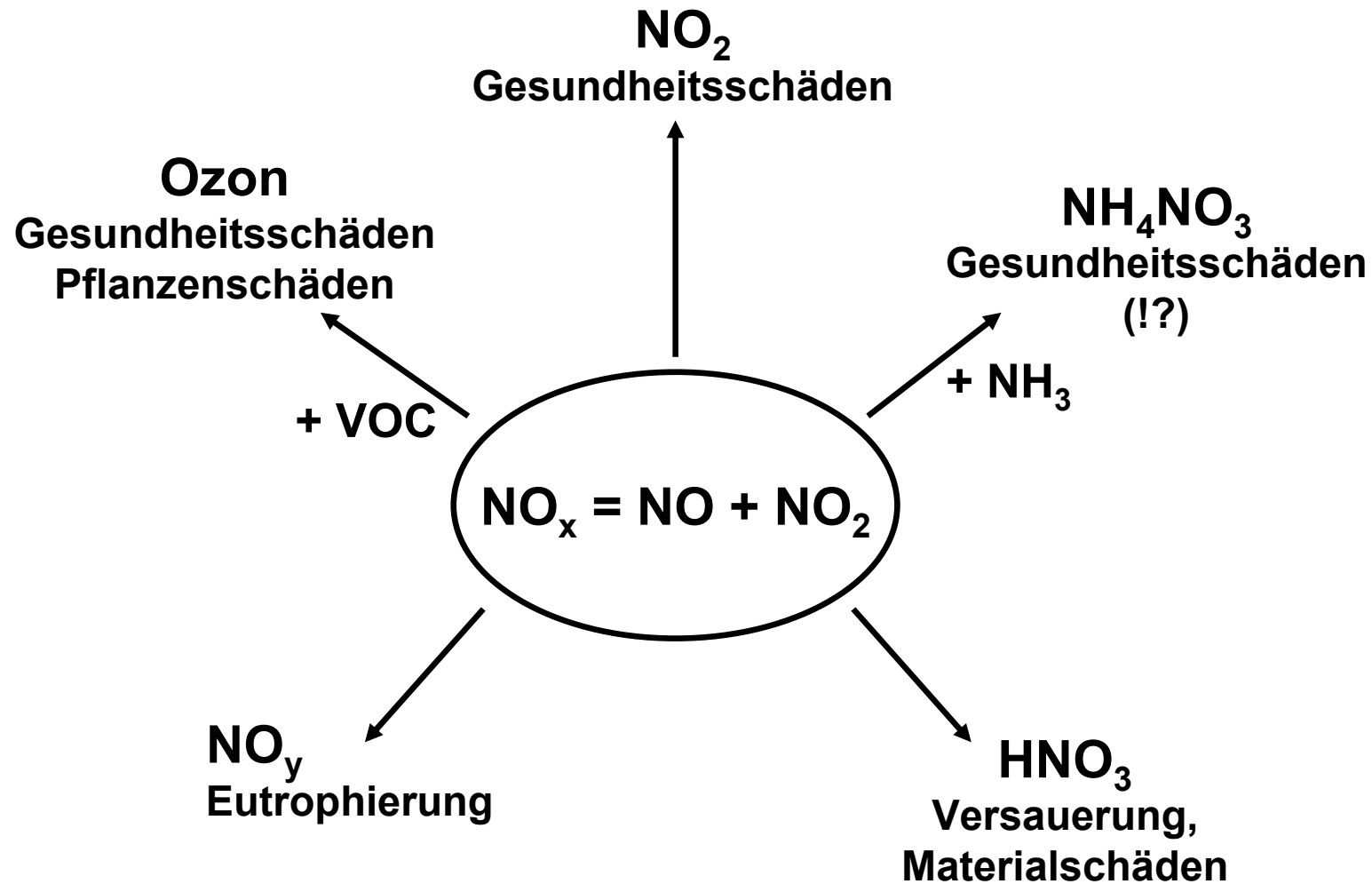
Abt. Technikfolgenabschätzung und Umwelt

Universität Stuttgart

11. Oktober 2007, Wien



NO_x – die wichtigsten Wirkungspfade





Grenzwerte für PM10 und Stickstoffdioxid NO₂ in der EU

Stoff	Mittel über	Konzentration	Zulässige Über-schreitungen	Einzuhalten ab
PM10	24 h	50 µg/m ³	35 pro Jahr	1.1.2005
PM10	1 a	40 µg/m ³	-	1.1.2005
NO ₂	1 h	200 µg/m ³	18 pro Jahr	1.1.2010
NO ₂	1 a	40 µg/m ³	-	1.1.2010

In Diskussion:

**Verlängerung des Termins
für NO₂ um 4-5 Jahre**

**PM2.5 Grenzwert 25 µg/m³
als Jahresmittel**



Entstehung von NO_x bei Verbrennungsprozessen

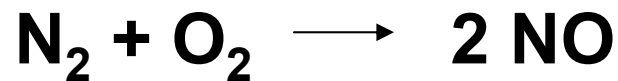
Thermisches NO_x	Brennstoff – NO_x	Promptes NO_x
<p>N₂ aus Verbrennungsluft</p> $\text{N}_2 + \text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{N}$ $\text{N} + \text{O}_2 \rightarrow \text{NO} + \text{O}$	<p>N organisch gebunden im Brennstoff</p> <p>> 750 C°</p>	<p>N aus Verbrennungsluft in der Flammenzone</p>
<p>Entstehung wird begünstigt durch:</p> <ul style="list-style-type: none">• hohe Temperaturen in der Flamme ca > 1300 C°• Sauerstoffüberschuss• Verweilzeit des Brennstoff-Luft-Gemisches in der Zone hoher Temperaturen	<p>Stickstoffgehalt von</p> <p>Kohle: 0,5 – 2 Gew.- %</p> <p>Heizöl: 0,1 – 0,6 Gew.- %</p> <p>Umwandlungsrate:</p> <p>Kohle: 20 – 40 %</p> <p>leichtes Heizöl: 80 – 90 %</p>	$\text{CH} + \text{N}_2 \rightarrow \text{HCN} + \text{N}$ $\text{C}_2 + \text{N}_2 \rightarrow 2 \text{CN}$ <p>Oxidation zu NO</p>



Entstehung von NO_x in Umweltmedien

Blitze:

thermisches NO_x



**Denitrifikation in Böden
durch Bakterien, anaerob**

**NO₃⁻ ← Dünger, Nitrat- und
Ammoniumdeposition**



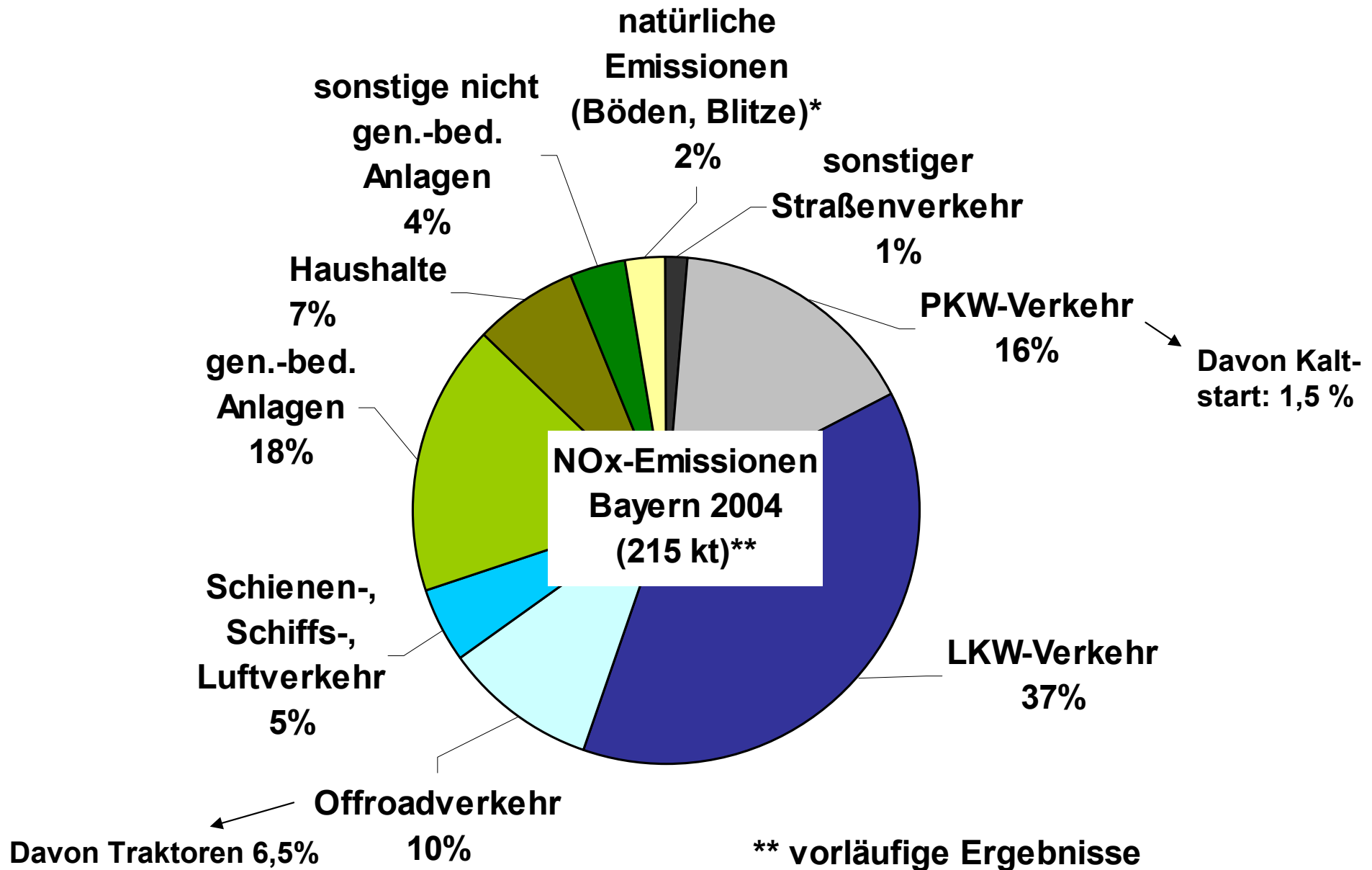
biogene Emission

in die

Atmosphäre

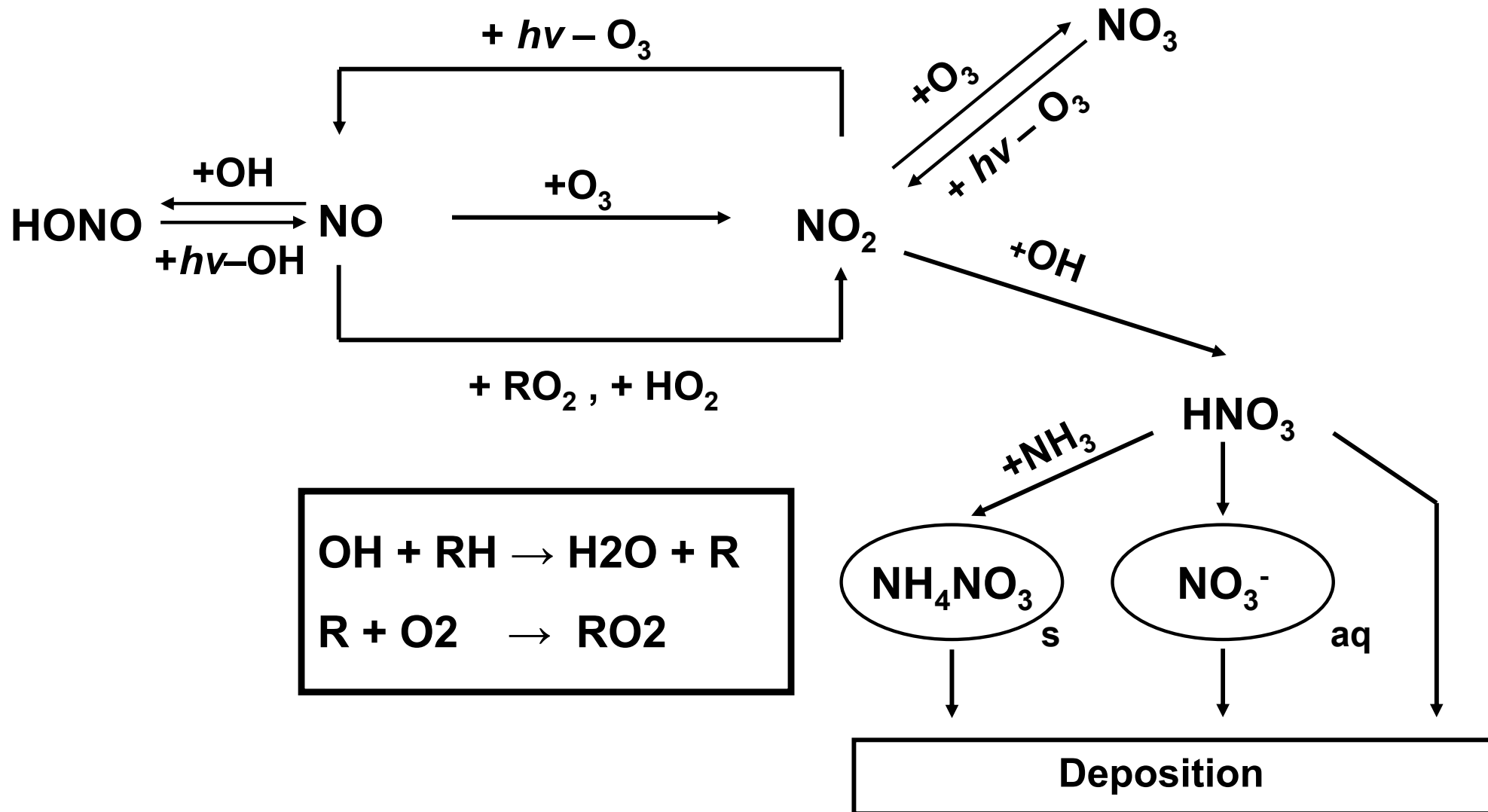


NOx-Emissionen 2004 in Bayern – vorläufige Werte



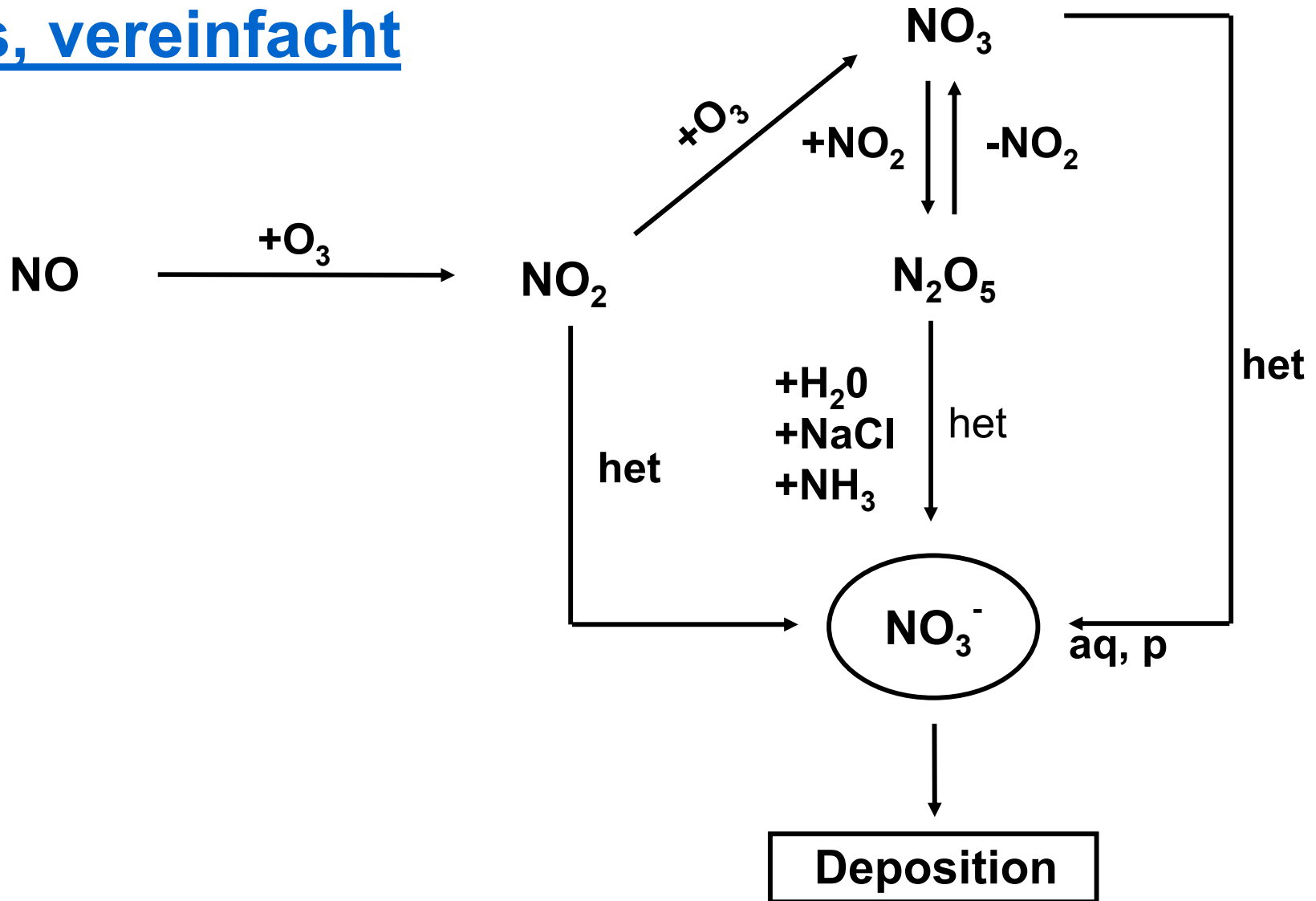


N-Atmosphärenchemie: tagsüber, vereinfacht





N-Atmosphärenchemie nachts, vereinfacht





Minderungsmaßnahmen

Primärmaßnahmen

- Prinzip: niedrige Flammentemperaturen, Sauerstoffmangel in der heißen Verbrennungszone

Stationäre Feuerungen

- NO_x-arme Brenner
- Stufenverbrennung
- Oberluftzugabe
- Abgasrezirkulation

Motoren

- Abgasrückführung
- Ladeluftkühlung



Minderungsmaßnahmen

Sekundärmaßnahmen

- Prinzip: Reduzierung von NO_x zu N_2
auch mit Katalysator erst ab ca. 340°C

Stationäre Feuerungen

- SCR: selective catalytic reduction
 $4 \text{NO} + 4 \text{NH}_3 + \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{N}_2$

Ottomotoren

- Dreiwegkatalysator
 CO , C_nH_m , NO_x werden umgewandelt in CO_2 , C_nH_m , N_2 , H_2O

Dieselmotoren:

- SCR Kat mit Harnstoffeindüsung



Schadstoffgrenzwerte für Lkw in g/kWh im Testzyklus

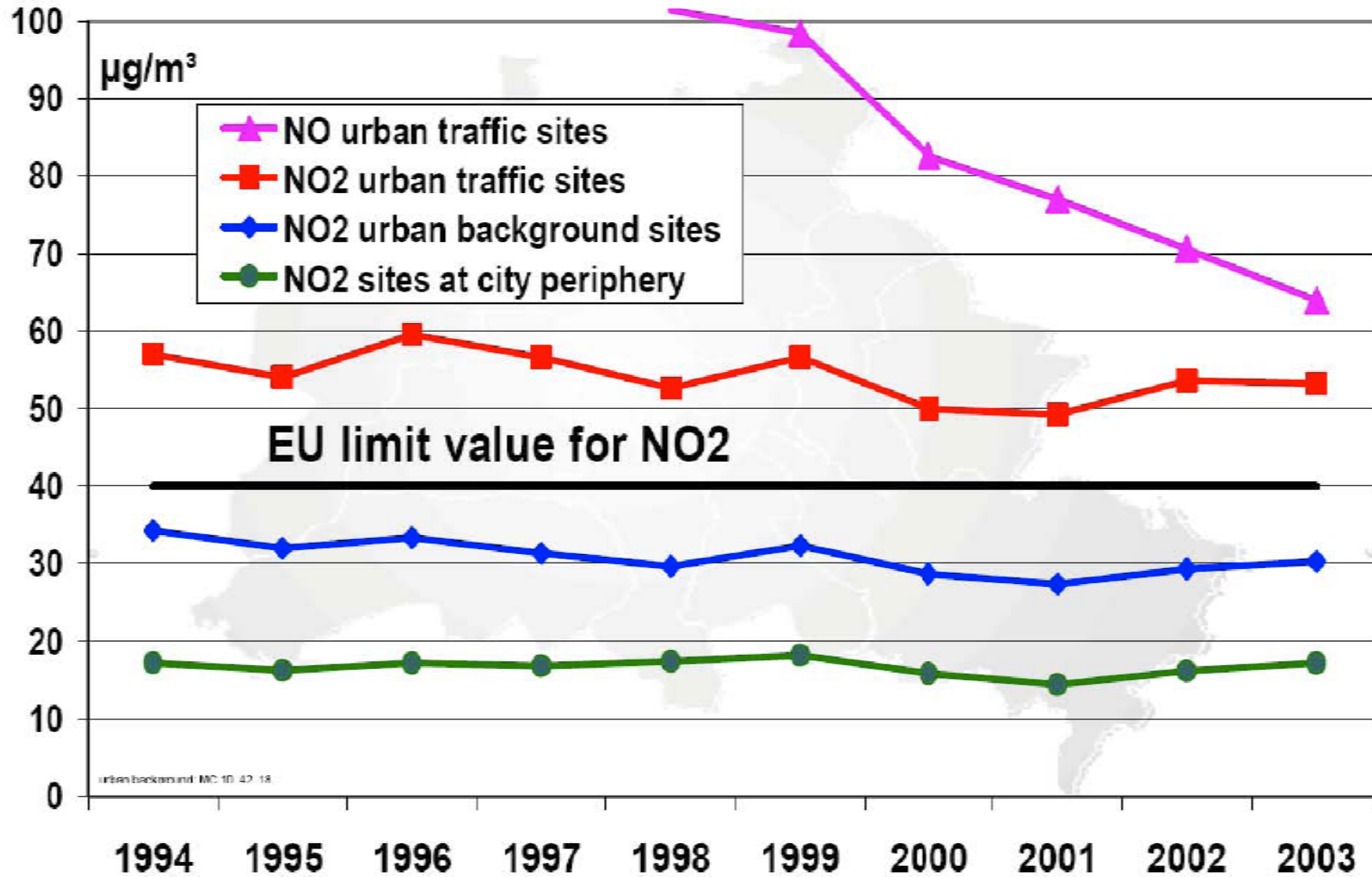
	Gültig ab	NOx	Partikel
EURO 0	1988/90	15,8	-
EURO 1	1992/93	9	0,4
EURO 2	1995/96	7	0,15
EURO 3	2000	5	0,1
EURO 4	2005	3,5	0,02
EURO 5	2008	2	0,02
EURO 6		0,2 – 1,0	0,02 – 0,01



Schadstoffgrenzwerte für Lkw in g/kWh im Testzyklus

	Gültig ab	NOx	Partikel
EURO 0	1988/90	15.8	-
EURO 1	1992/93	9	0,4
EURO 2	1995/96	7	0,15
EURO 3	2000	5	0,1
EURO 4	2005	3,5	0,02
EURO 5	2008	2	0,02
EURO 6		0,2 – 1,0	0,02 – 0,01

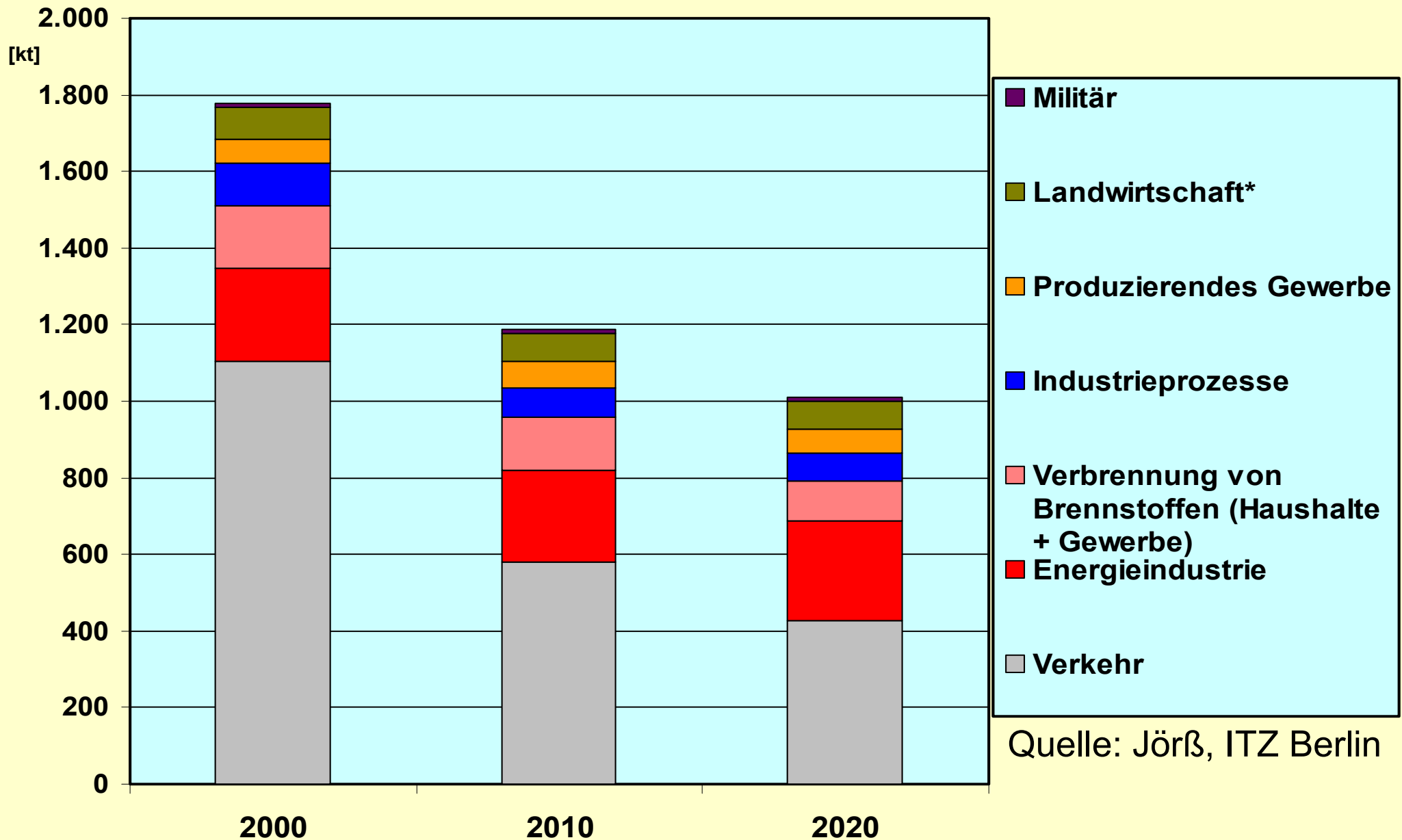
trend of nitrogen oxide concentration in Berlin



Quelle: M. Lutz, Senatsverwaltung für Stadtentwicklung, Berlin



Referenzszenario für NO_x-Emissionen in Deutschland



Quelle: Jörß, ITZ Berlin