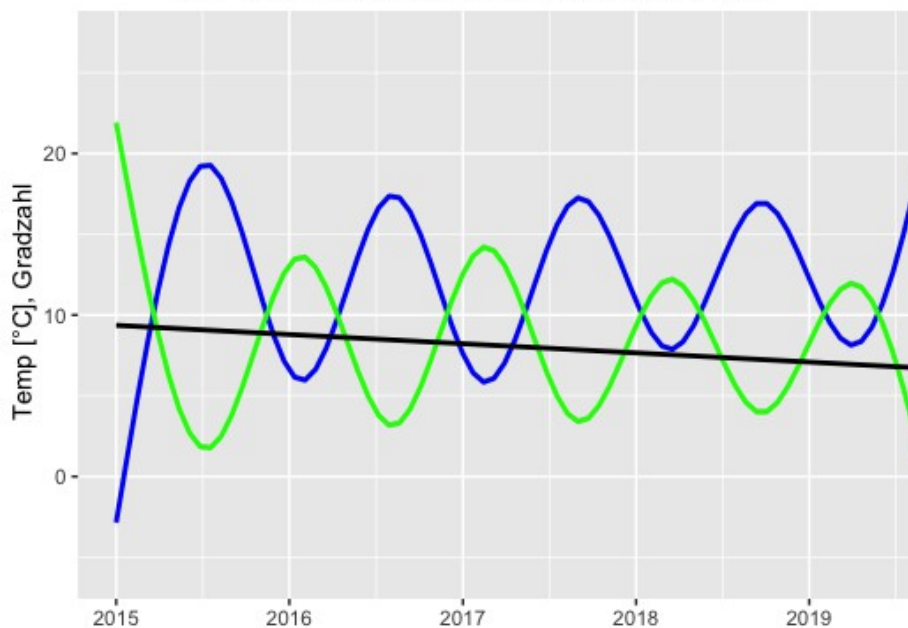


## Energiebedarf und Emissionen für Heizungen und Warmwassererzeugung

Die benötigte Energie zur Heizung von Gebäuden ist proportional zur Differenz aus gewünschter Innentemperatur (in der Regel 20°C) und der Außentemperatur Temp. Diese Differenz wird Gradzahl genannt und liegt der Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden zu Grunde

$$\begin{array}{ll} \text{Grdz} = 20 - \text{Temp} & \text{wenn Temp} < 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ \text{Grdz} = 0 & \text{wenn Temp} > 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{array}$$

Mittlerer Heizbedarf (Gradzahl, grün) &  
Temperatur(°C, blau)  
Bad Cannstatt Gnesenerstr 2015 bis 6/2019



Die schwarze Linie (Regressionsgerade) beschreibt die mittlere Gradzahl (aus 1-h Temperatur-Messungen berechnet)

Zusätzlich wird in Heizungen Energie zur Erzeugung von Warmwasser eingesetzt. Dieser Anteil ist nach allgemeinen Erfahrungen mit 20% des jährlichen Energieverbrauchs von Haushalten anzusetzen.

Bei Temperaturen über 15 °C werden Gebäudeheizungen in der Regel abgeschaltet, da die übrigen Energieverbraucher (Licht, Kochen, Maschinen) Verlustwärme erzeugen und durch Sonneneinstrahlung durch die Fenster genügend Energie vorhanden ist, um eine Wohnraumtemperatur von 20 °C sicher zu stellen.

Der Jahresverbrauch ist proportional der Summe der Gradzahlen ( $\Sigma_{\text{Hztg}} \text{Grdz}$ ). Die Summe der Gradzahlen lässt sich auch als mittlere Gradzahl ( $\text{Grdz}_m$ ) multipliziert mit der Zahl der Heiztage ( $\text{Hztg}$ ) ausdrücken.

$$\text{Jahresverbrauch(Heizung)} \sim \Sigma_{\text{Hztg}} \text{Grdz} = \text{Grdz}_m |_{\text{Hztg}} * \text{Hztg}$$

Multipliziert mit einem **gebäudespezifischen Faktor** aus der Wärmebedarfsrechnung ergibt sich die zur Gebäudeheizung verbrauchte Jahresenergie.

Der Wärmebedarf zur Warmwassererzeugung entspricht heute in der Regel rund 20 % des jährlichen Gesamtenergieeinsatzes d.h. 25% der Energie für die Gebäudeheizung.

$$\begin{aligned} \text{Jahresverbrauch(Warmwasser)} &\sim \text{Jahresverbrauch(Heizung)} \cdot 25\% \\ &\text{oder} \\ \text{Jahresenergie} &\sim 1.25 \cdot \Sigma_{\text{Hztg}} \text{Grdz} \end{aligned}$$

Die Warmwassererzeugung erfolgt über das ganze Jahr. Der tägliche Energieverbrauch zur Warmwassererzeugung kann erfahrungsgemäß näherungsweise an allen 365 Tagen gleich angesetzt werden. Der durchschnittliche **tägliche** Energiebedarf für die Warmwassererzeugung der **1460 Teil** der Energie für die Gebäudeheizung.

Energiebedarf	pro Jahr	pro Heiztag	pro Tag ohne Heizg
Heizung	$\sim \text{Grdz\_m} \cdot \text{Hztg}$	$\sim \text{Grdz\_m}$	0
Warmwasser	$\sim \text{Grdz\_m} \cdot \text{Hztg} \cdot 0.25$	$\sim \text{Grdz\_m} \cdot \text{Hztg} / 1460$	$\sim (\Sigma_{\text{Hztg}} \text{Grdz}) / 1460$
Gesamt	$\sim 1,25 \cdot (\Sigma_{\text{Hztg}} \text{Grdz})$	$\sim \text{Grdz\_m} \cdot (1 + \text{Hztg} / 1460)$	$\sim \text{Grdz\_m} \cdot \text{Hztg} / 1460$

Zusammenfassung des Datensatz von Bad-Canstatt (2015 bis 2019):

Gesamtstunden	Heizstunden	Anteil Hztg	Mittl. Temp an Heiztagen	Mittlere Gradzahl an Heiztagen
436974	291481	66,70%	6,6	13,4

Beispiel Bad Cannstatt : Die mittlere Jahrestemperatur (alle Tage) 2000 bis 2020 11.1°C. Lag also 4.5°C höher als i, Mittel der Heiztage. Die Zahl der Heizstunden ( Temp < 15°C ) betrugen im 20- Jahreszeitraum 66,7% oder 243 Hztg. pro Jahr bzw. 5843 Heizstunden pro Jahr. Daraus ergibt eine rechnerische „Gradzahl für Warmwasser“ von 2,23 an 365 Tagen oder 8760 Stunden. Der Gesamtenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser ist daher näherungsweise durch folgendes Modell beschrieben

$$\text{Jahresenergie} \sim (\Sigma_{\text{hztg}} (20 - \text{Temp}) + 365 \cdot 2,23)$$

Die NO<sub>2</sub>- Emissionen sind proportional zur eingesetzten Jahresenergie.

$$\text{NO}_2\text{\_Emission} \sim \text{Jahresenergie}$$

Daraus ergibt sich der statistische Modellansatz für die Schätzung der NO<sub>2</sub> Emissionen:

$$\text{NO}_2 [\text{t}]|_{\text{Zeiteinheit}} \sim a - b \cdot \text{Temp}$$

das Model für Bad Cannstatt pro Jahr

$$\text{NO}_2 [\text{t}] \sim (6274 - \Sigma_{\text{hztg}} \text{Temp}) \quad (\text{Summe über Tage mit Temp} < 15^\circ\text{C} = \text{Hztg.})$$

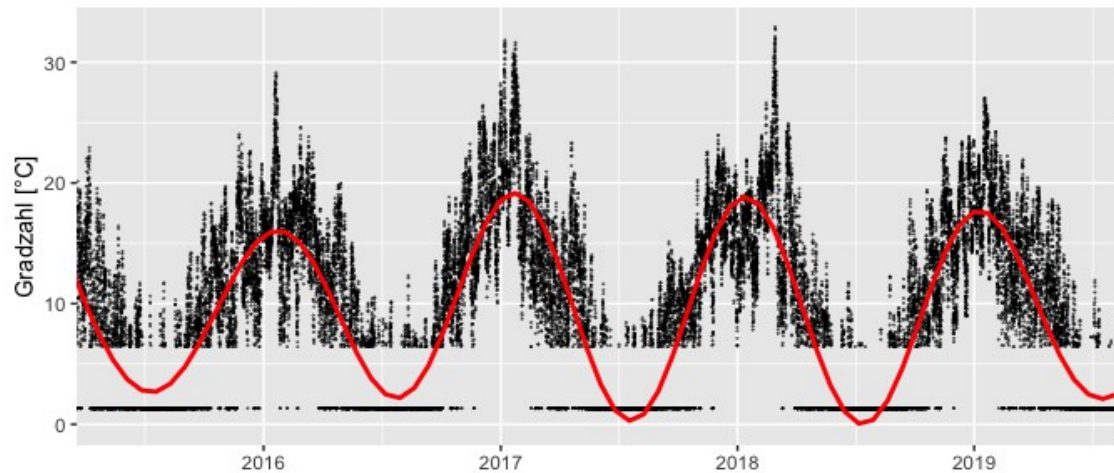
Mit der weiteren Annahme, dass sich die Immissionen im Mittel proportional zu den Emissionen im jeweiligen betrachteten Zeitabschnitt einstellen, kann dieser Ansatz auch als Modell zur Ermittlung der Immissionen verwendet werden.

$$\text{NO}_2 [\mu\text{g}/\text{m}^3] \sim a - b \cdot \text{Temp} \quad \text{für Temp} < 15^\circ\text{C}$$

Heizwärmebedarf (aus 1- h Werten) für Bad Cannstatt und Bernhausen :

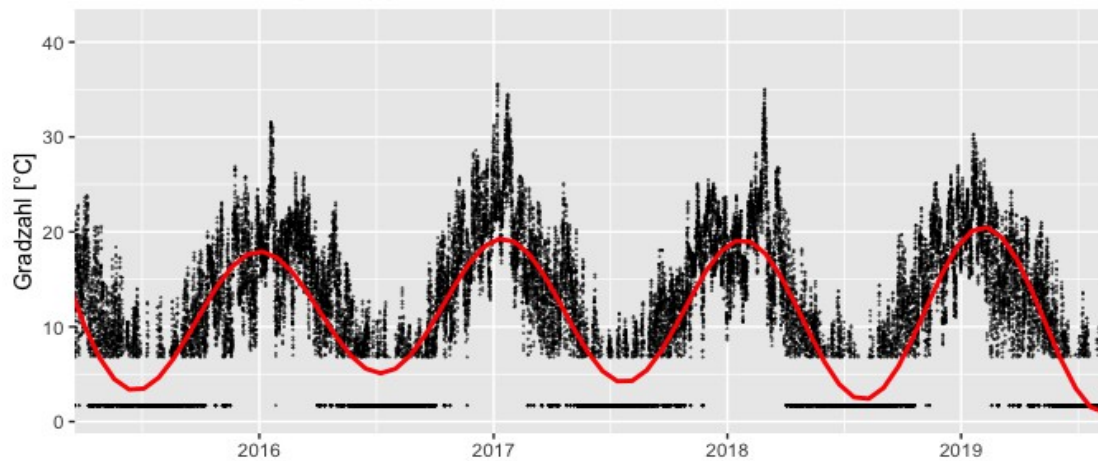
Heizbedarf aus 1-h Werten  
Bernhausen 2015 bis 2019

Gradzahl Einzelwerte für Temp < 15 °C  
GAM Mittelwerte (k =12 ) (rote Linie)



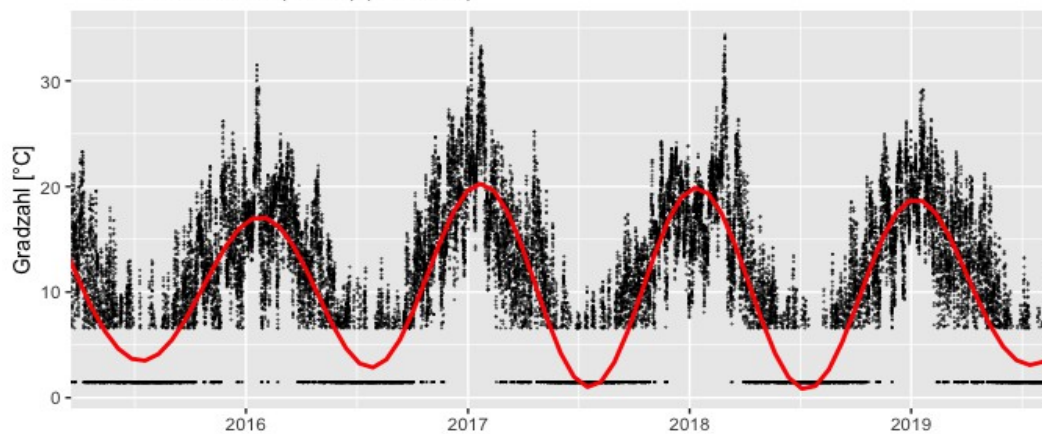
Heizbedarf aus 1-h Werten  
Bernhausen 2015 bis 2019

Gradzahl Einzelwerte für Temp < 15 °C  
GAM Mittelwerte (k =12 ) (rote Linie)

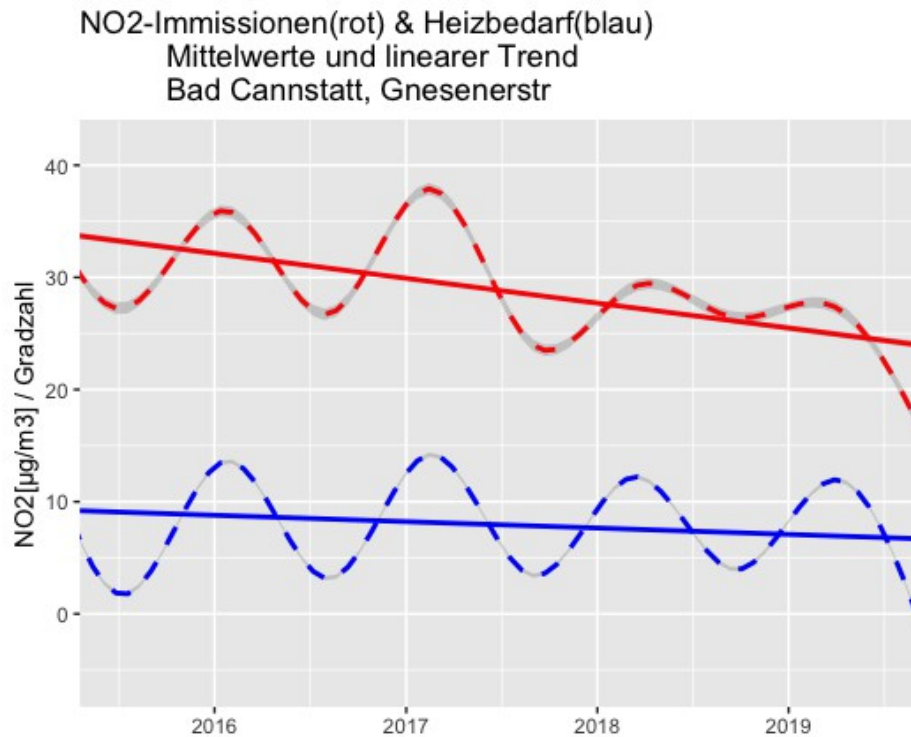


Heizbedarf aus 1-h Werten  
Reutlingen 2015 bis 2019

Gradzahl Einzelwerte für Temp < 15 °C  
GAM Mittelwerte (k =12 ) (rote Linie)

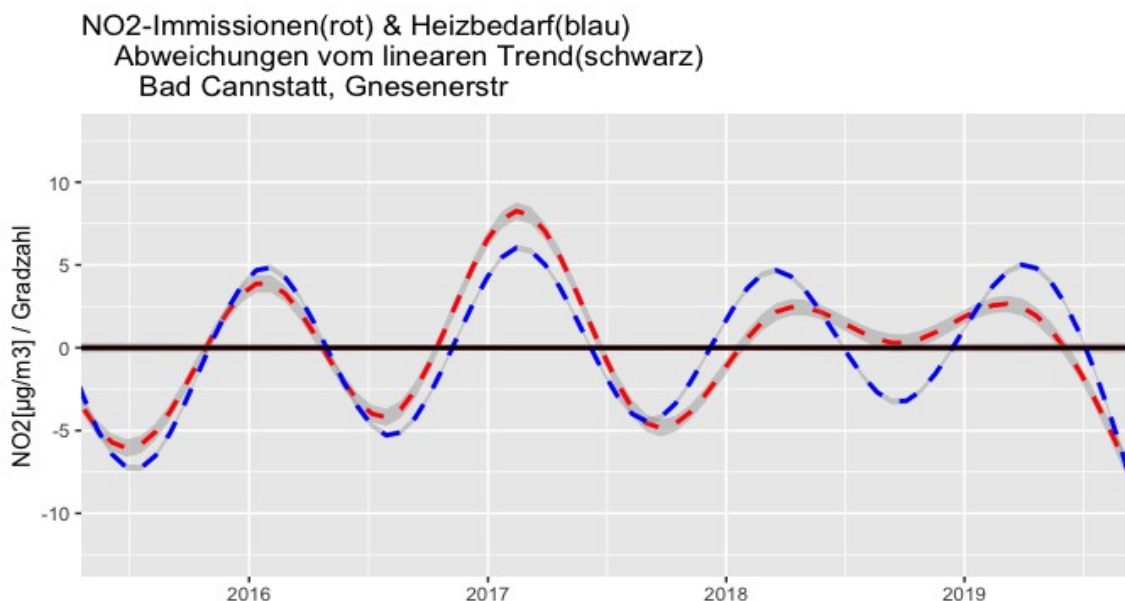


In der folgenden Abbildung sind die mittleren Zeitverläufe und die Trends der NO<sub>2</sub>- Immissionen und der Gradzahlen gegenüber gestellt. (Trends als Regressionsgeraden):

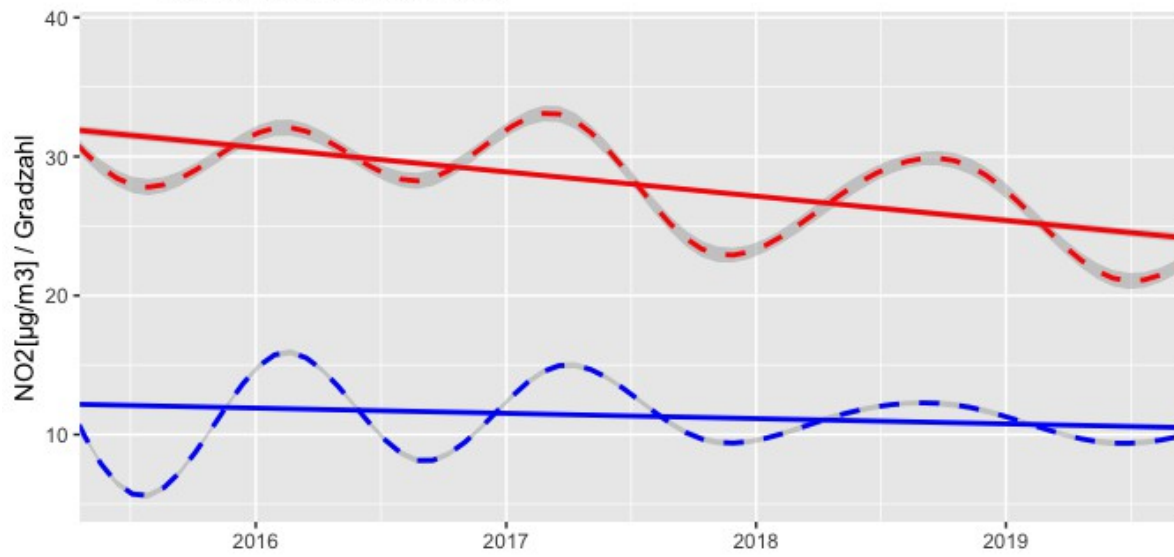


Die mittleren NO<sub>2</sub>- Immissionen (rot) nehmen deutlich stärker ab als der Heizwärmebedarf (blau)- Dies deutet daraufhin, dass die Immissionen außer von den Emissionen der Heizungen noch von anderen Emissionsquellen (z.B. Verkehr oder Kraftwerk) abhängen.

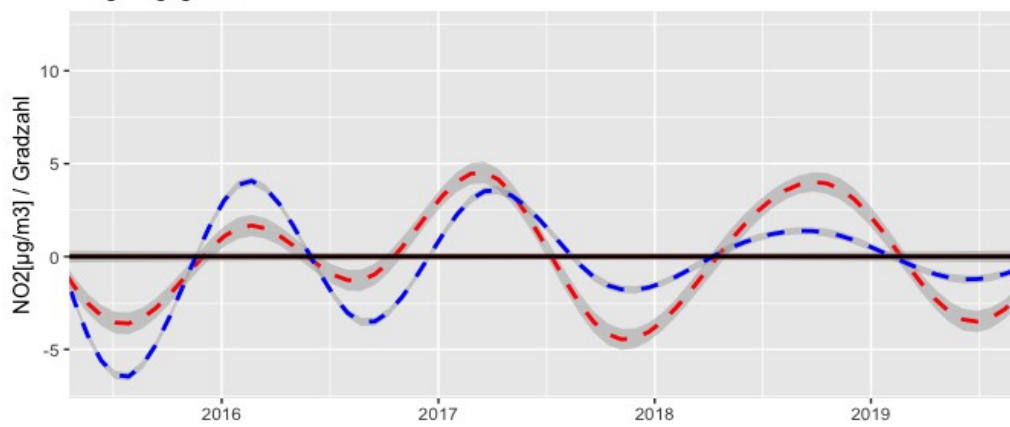
Bei einer Darstellung der Messdaten in Bezug auf den linearen Trend wird die direkte Abhängigkeit der NO<sub>2</sub>-Immissionen vom Heizwärmebedarf deutlich:



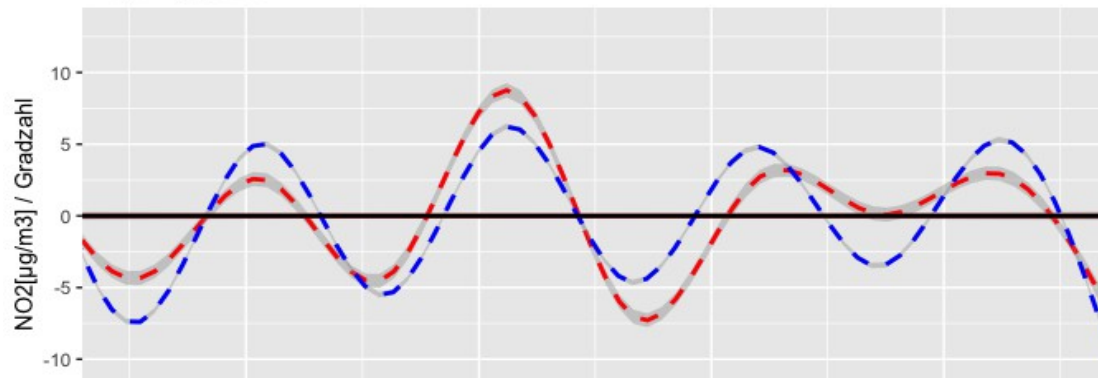
NO2-Immissionen(rot) & Heizbedarf(blau)  
Mittelwerte und linearer Trend  
Bernhausen, Heubergstr



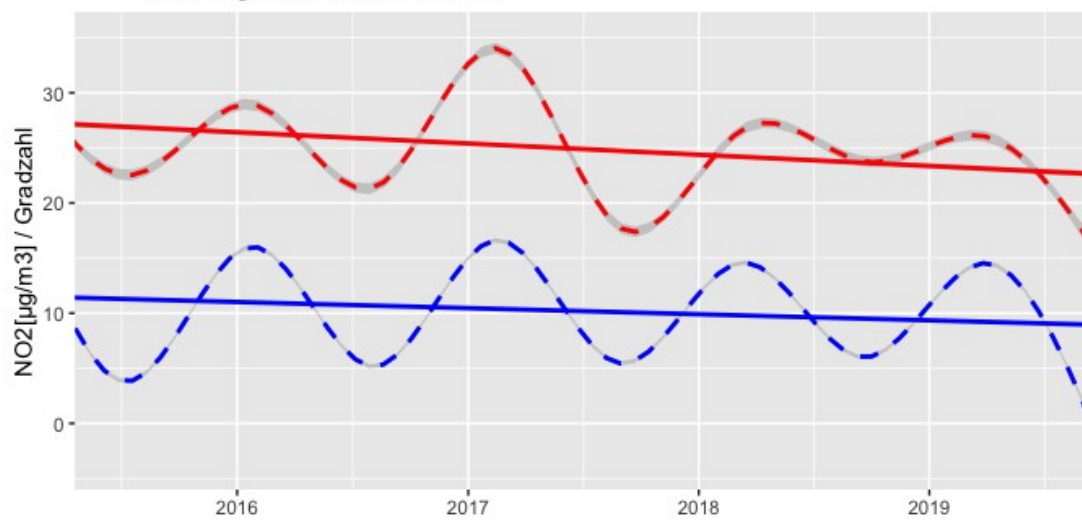
NO2-Immissionen(rot) & Heizbedarf(blau)  
Abweichungen vom linearen Trend(schwarz)  
Bernhausen, Heubergstr  
mit gam geglättet



NO2-Immissionen(rot) & Heizbedarf(blau)  
 Abweichungen vom linearen Trend(schwarz)  
 Reutlingen Friedrichstrasse  
 mit gam geglättet

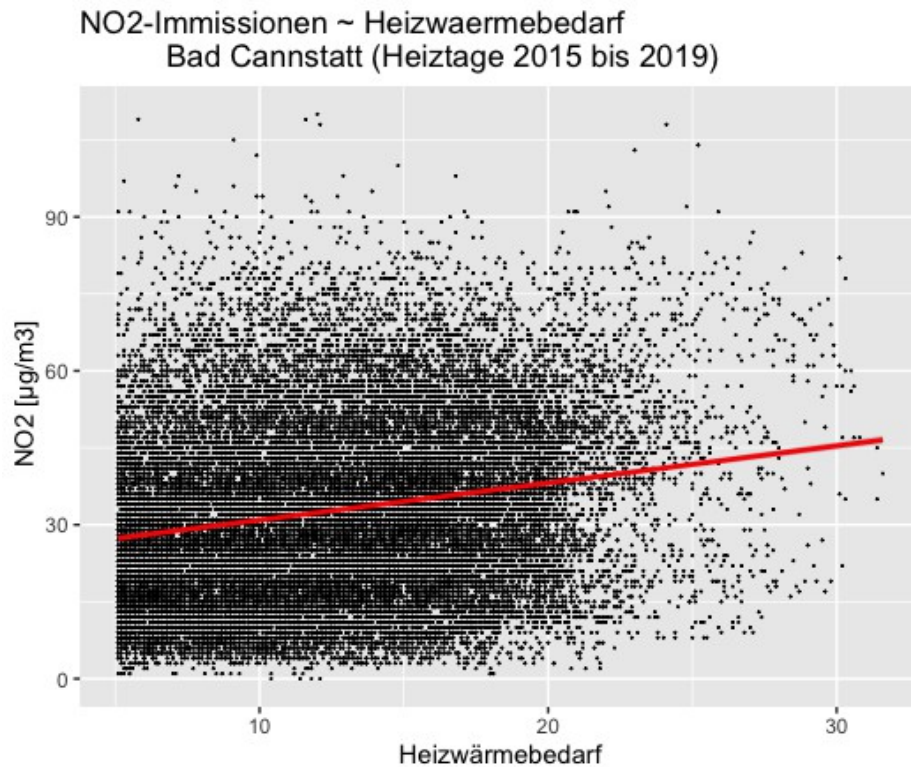


NO2-Immissionen(rot) & Heizbedarf(blau)  
 Mittelwerte und linearer Trend  
 Reutlingen, Friedrichstrasse

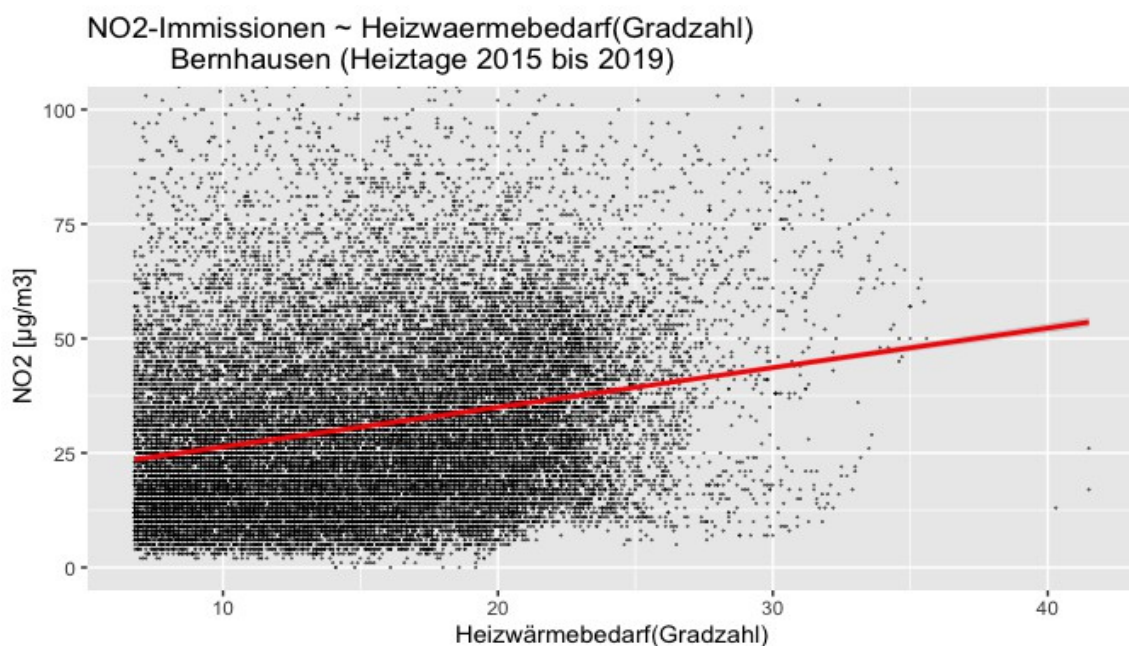




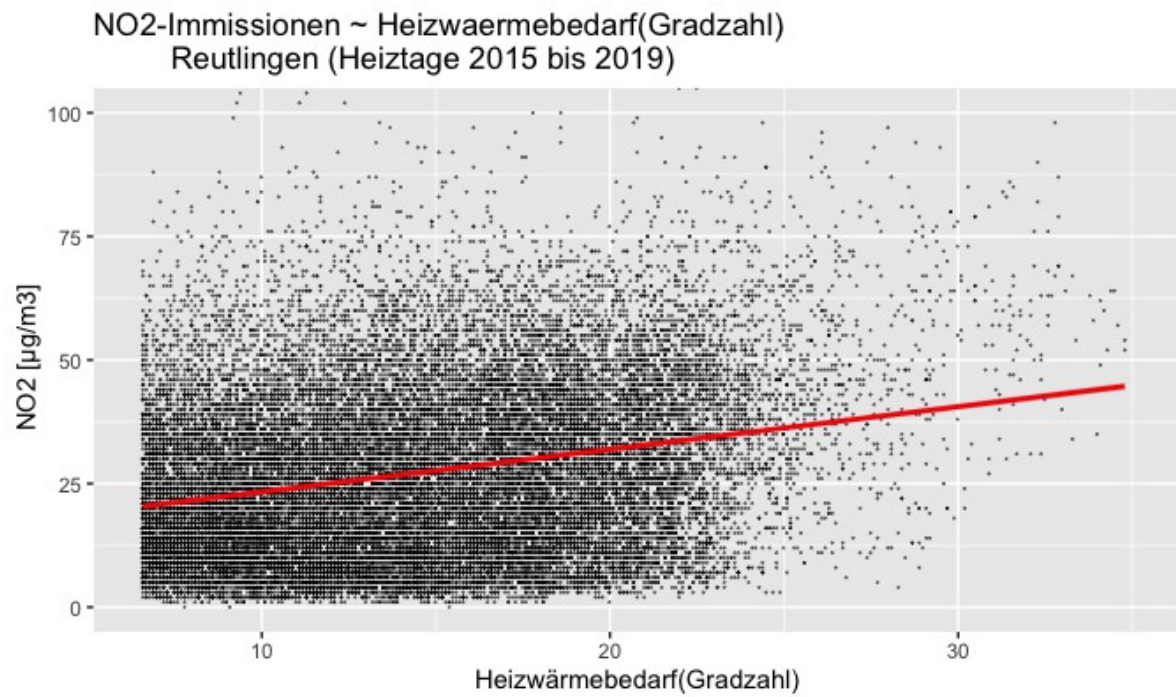
Die Abhängigkeit der NO<sub>2</sub> -Immissionen vom Heizwärmebedarf ( Gradzahl) an Heiztagen:



Die Berechnung zeigt: Die Immissionen steigen um  $0.723 \text{ } [\mu\text{g}/\text{m}^3]$  pro Gradzahl. Eine Senkung der mittleren Temperatur um  $1 \text{ } ^\circ\text{C}$  bewirkt in Bad Cannstatt (Station 4452) eine Erhöhung der Immissionen um  $0.723 \text{ } [\mu\text{g}/\text{m}^3]$  bei Berechnung aus den veröffentlichten 1-h Werten der LUBW.



In Bernhausen (Station 392539) ist die Abhängigkeit der Immissionen vom Heizwärmebedarf nahezu gleich der in Bad Cannstatt: Eine Erhöhung der mittleren Temperatur an Heiztagen verursacht eine Verminderung der Immissionen um  $0.770 \text{ } [\mu\text{g}/\text{m}^3]$  pro Grad C.



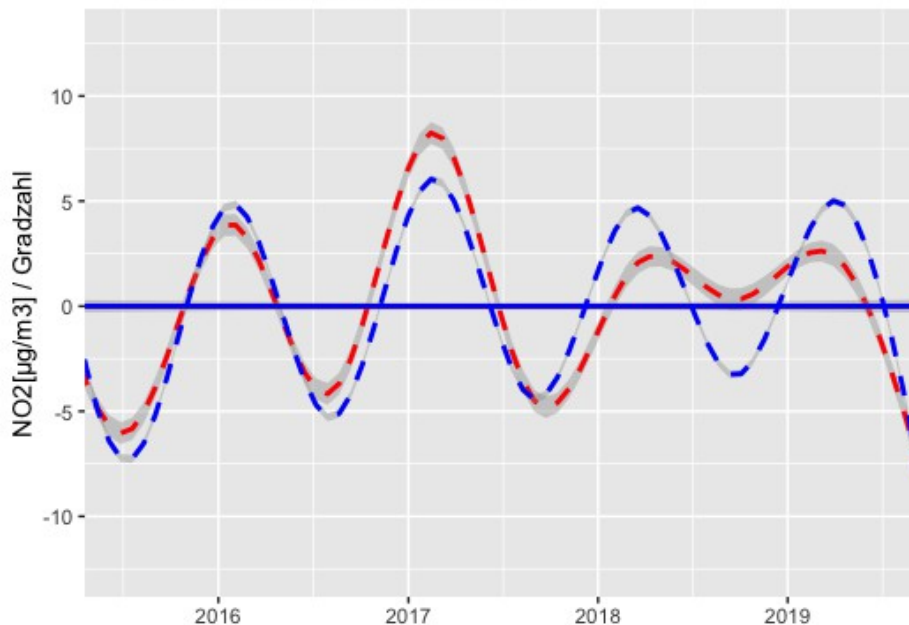
In Reutlingen, Friedrichstrasse (Station 4470 ) ist die Abhängigkeit der NO<sub>2</sub>-Immissionen vom Heizwärmebedarf geringfügig kleiner 0.635 [µg/m<sup>3</sup>] pro Grad C.



Die NO<sub>2</sub> -Immissionen wie auch die Gradzahlen vermindern sich im langjährigen Mittel (Trend der Regressionsgeraden)

Der Zusammenhang als Abweichung der Messwerte vom Trend zeigt die Auswirkungen der Heizungen auf die NO<sub>2</sub> Immissionen:

NO<sub>2</sub>-Immissionen(rot) & Heizbedarf(blau)  
Abweichungen vom Trend  
Bad Cannstatt, Gnesenerstr



NO<sub>2</sub>-Immissionen(rot) & Heizbedarf(blau)  
Abweichungen vom linearen Trend(schwarz)  
Bernhausen, Gnesenerstr

mit gam geglättet

