

Ultra-Low-NO_x-Technologie für Rostfeuerungen von 700 kW bis 8 MW mit optimierter, adaptiver Luftstufung

Martin König, Head of Department Process Engineering

19. Holzenergie-Symposium - 11.9.2026

Inhalt

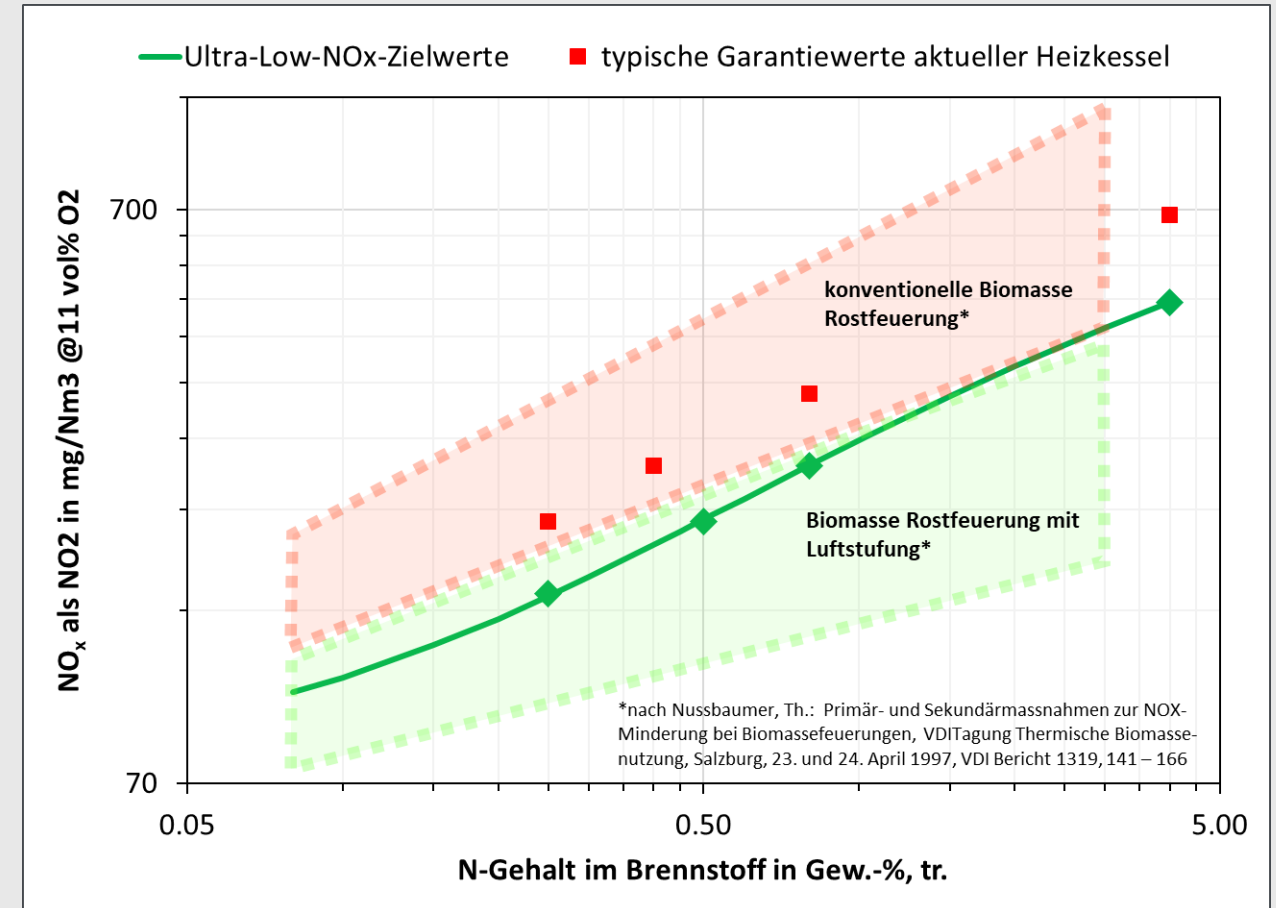
1. Potenzial NO_x-Reduktion durch Luftstufung, Herausforderungen und Erweiterung der Revolution adaptive
2. Prüfstand und Messungen UTSR-900 ULN
3. Fazit und Ausblick



SE-Sävar UTSR-8000 ULN

Potenzial der NO_x-Reduktion durch Luftstufung vs. Praxis

- ▶ Veröffentlichungen zeigen, dass mit Luftstufung bei Laboranlagen eine deutliche Reduktion der NO_x-Emissionen erreicht werden kann (Bild rechts).
- ▶ Optimale Reduktionsbedingungen können durch die schwankenden Brennstoffqualitäten in der Praxis nicht dauerhaft eingehalten werden.
- ▶ Mit der Regelung Revolution adaptive hat Schmid Mawera eine Grundlage geschaffen, um schwankenden Brennstoffqualitäten in der Praxis zu bewältigen.



NO_x-Reduktion durch Luftstufung

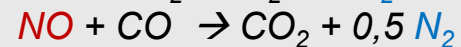
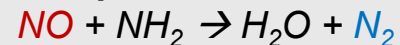
NO_x

- ▶ NO_x sind Verbindungen von Stickstoff N und Sauerstoff O (meistens NO und NO₂)
- ▶ NO_x ist gesundheits- und umweltschädlich: daher Emissions-Grenzwerte
- ▶ **Bei Biomassefeuerungen kommt der Stickstoff zur NO_x-Bildung aus dem Brennstoff.**

Reduktion durch Luftstufung

- ▶ Wenn in Bereichen der Brennkammer **zu wenig Sauerstoff O₂ vorhanden** ist (unterstöchiometrische Bedingungen), wird NO_x als Oxidationsmittel für brennbare Gase verbraucht.
- ▶ Dabei wird **NO** abgebaut und der Stickstoff verlässt als **N₂** die Verbrennung.

Beispiele:



Um NO_x-Emissionen zu reduzieren, erzwingt man in der Feuerung **unterstöchiometrische Zonen**, um den **NO_x-Abbau zu fördern**.

NO_x-Reduktionszonen im Standard UTSR-XXXX.32

Herausforderungen:

- ▶ Der Abbau von NO braucht ca. >0,5 s Verweilzeit bei 950 – 1200 °C [1], [2].
- ▶ Die Standard Feuerungen bieten in der Reduktionszone oft nicht genügend Verweilzeit.
- ▶ Die Luftmengen müssen gut abgestimmt sein, um reduzierende Bedingungen aufrecht zu halten.
- ▶ Die Verbrennungsgase enthalten auch HCN, NH₃-Verbindungen: Diese können bei der Nachverbrennung neues NO_x bilden.
- ▶ Bei ungünstiger Sekundärluftzufuhr kommt es zu einer unvollständigen Verbrennung (CO-Emissionen, Leistungsprobleme). Dies ist besonders bei feuchtem Brennstoff ein Problem.

Quellen:

[1] Nussbaumer, Th., Primär- und Sekundärmaßnahmen zur NO_x-Minderung bei Biomassefeuerungen, VDI Tagung Thermische Biomassenutzung, Salzburg, 23. und 24. April 1997, VDI Bericht 1319, 141-166.

[2] Spliethoff Et al., Basic effects on Nox emission in air staging and reburning at a bench-scale test facility, Elsevier Fuel, Vol. 75, No. 5, pp. 560-564, 1996.

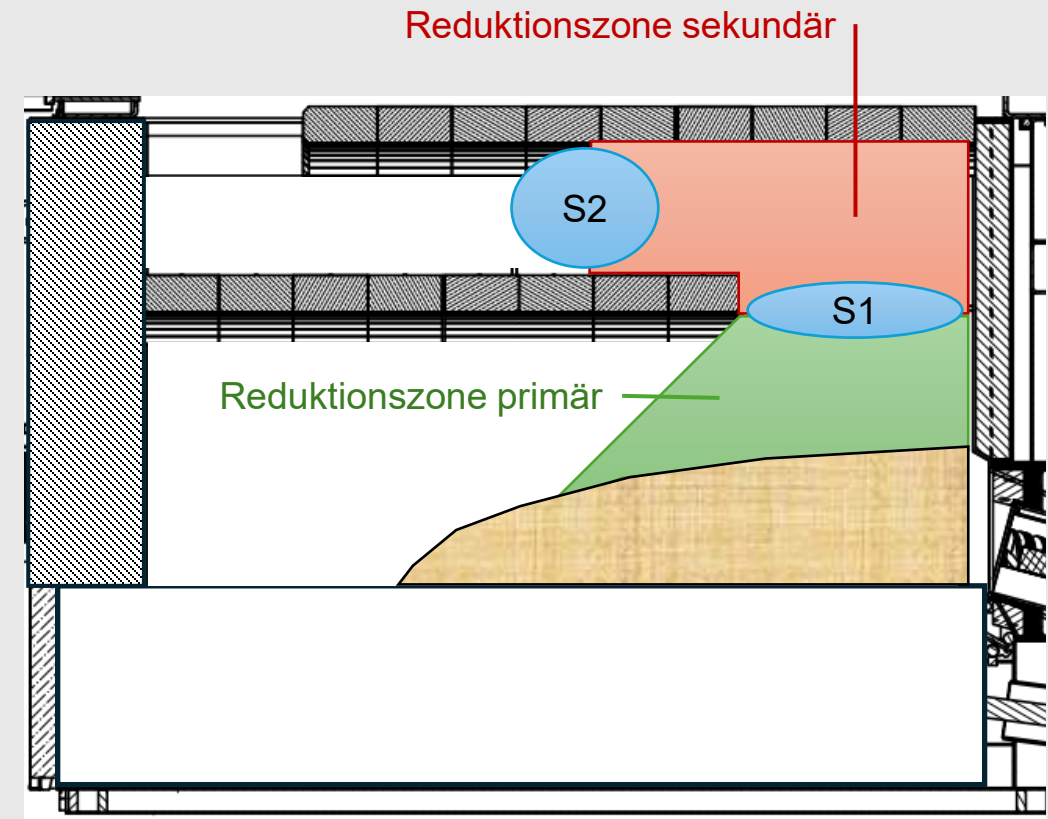


Bild: Standard-Brennkammer UTSR-XXX.32-1

Lösungsansatz für Brennkammern mit Ultra-Low-NOx-Technologie (ULN)

Ansatz:

- ▶ Zwei zusätzliche Gaszüge in der Brennkammer.
- ▶ Weitere Sekundärluftstufen (S3, S4).
- ▶ Erweiterung der Revolution adaptive, um NOx-Reduktionsbedingungen optimal aufrecht zu erhalten.

Auswirkung:

- ▶ (+) Die Standard-Brennkammer UTSR sowie der Standardkessel können verwendet werden.
- ▶ (+) Standardkessel muss nicht gedreht werden.
- ▶ (+) Starke Erhöhung der Verweilzeiten
- ▶ (–) Die Anlagen werden durch den zusätzlichen Bauraum höher.

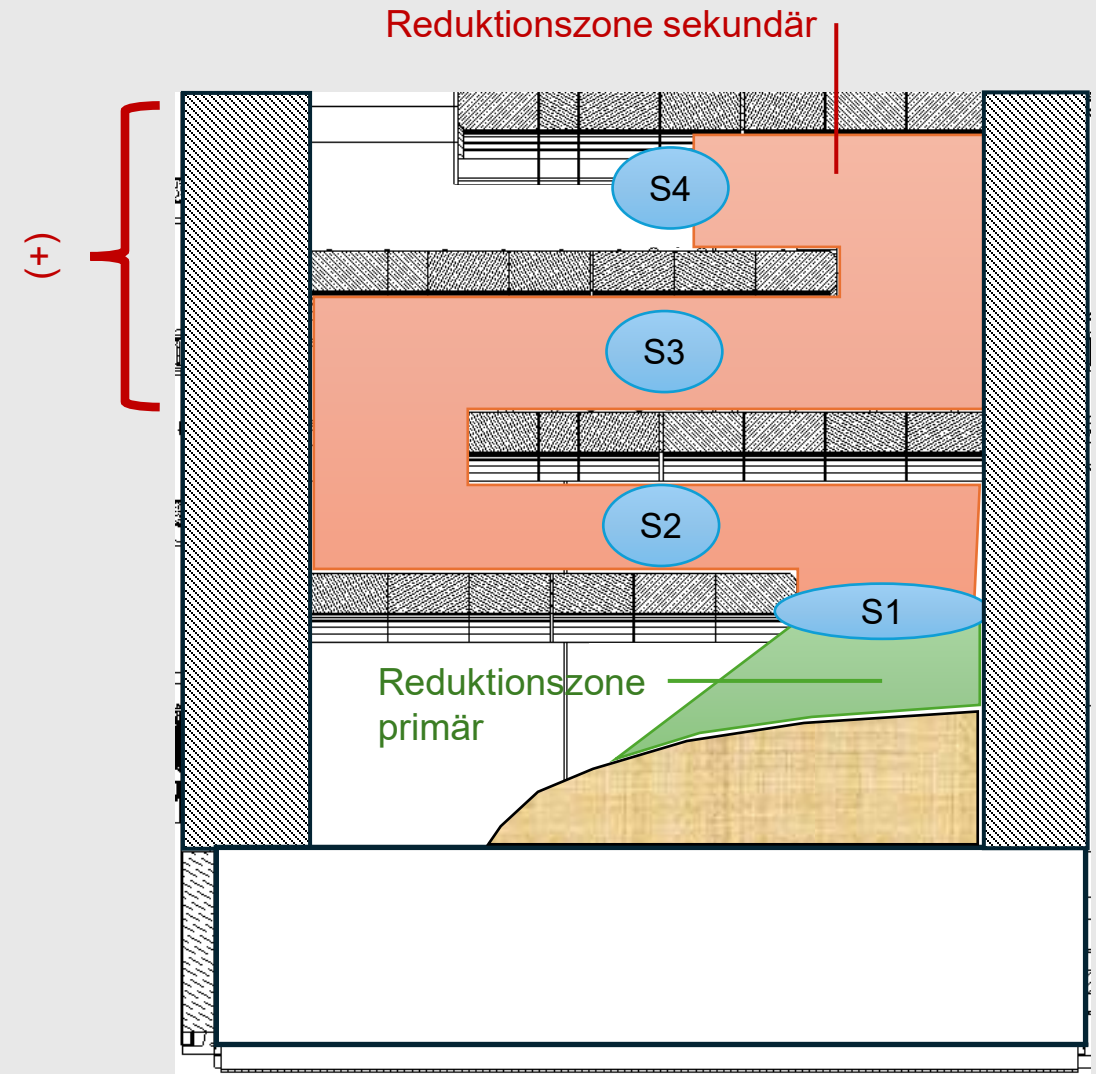


Bild: Konzept Ultra-LowNOx-Brennkammer

Was ist die Revolution adaptive?

Generell:

Adaptive Feuerungsregelung für UTSR-Anlagen (Warm-/Heisswasser und Dampfanlagen).

- ▶ Beinhaltet komplett neue Regelansätze
- ▶ Harmonisierung verschiedener Regler
- ▶ Mehr Freiheiten für Regler und nur ein Parametersatz für verschiedene Brennstoffqualitäten



Den Mehrwert der Revolution adaptive für die Regelung der Luftstufung nutzen

Eine Feuerungsregelung, die mit **nur einem Parametersatz und ohne Benutzereingriffe auf wechselnde Brennstoffqualität und -feuchte** reagiert und so stets eine optimale Verbrennung und Wärmeproduktion sicherstellt.



Erweiterung der Revolution adaptive mit Luftstufenregler für das Ultra-Low-NOx (ULN) Set-up

Merkmale der Revolution adaptive

Auch bei wechselnder Brennstoffqualität:

- ▶ Erreichen und Nachfahren der **Soll-Leistung**
- ▶ Betrieb mit konstantem und tiefem **Restsauerstoff** ($O_2 \approx 6 \%$)
- ▶ Optimale Regelung der **Abgasrückführung**
- ▶ Möglichst stabiles **Glutbett** auf dem Rost

Erweiterung für die adaptive Ultra-Low-NOx (ULN) Regelung

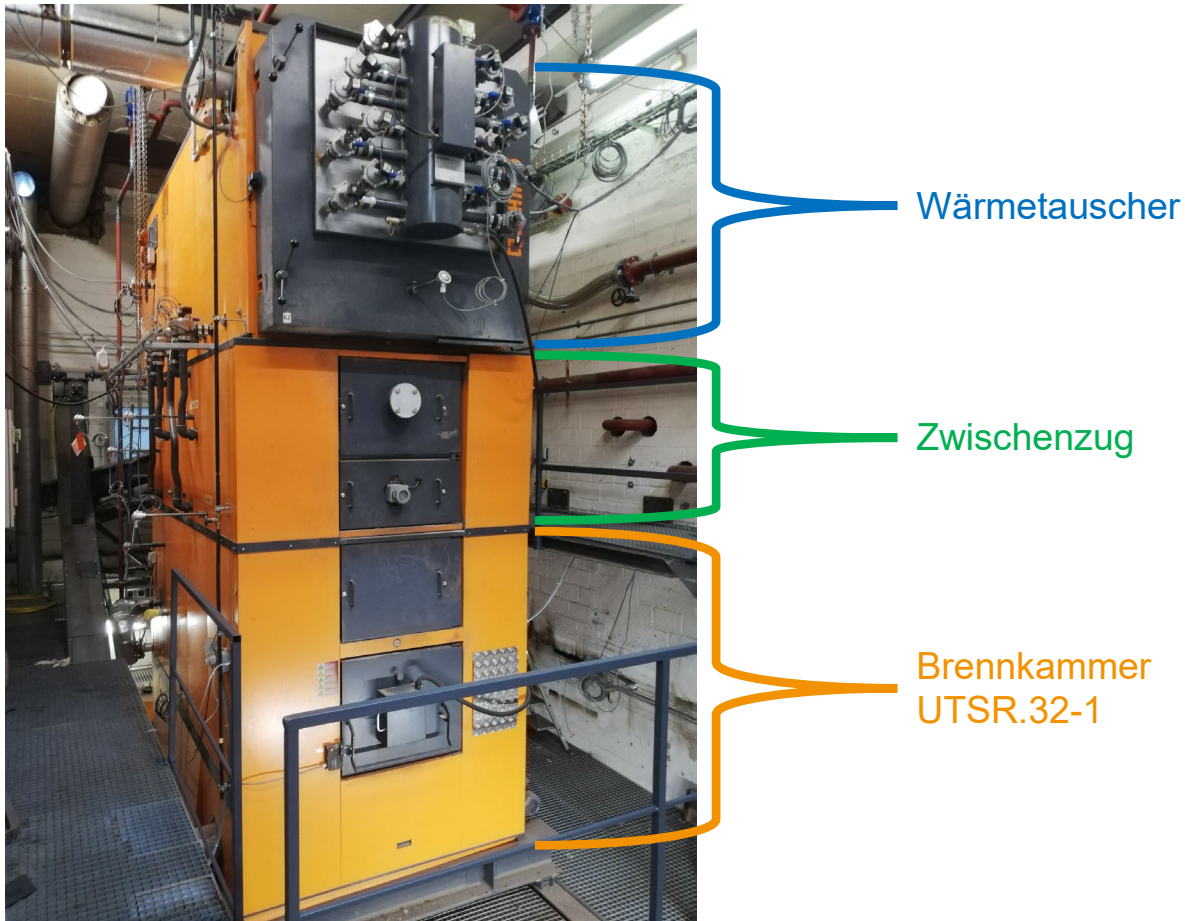
Auch bei wechselnder Brennstoffqualität:

- ▶ Gezielte und geregelte Luftzugabe in den einzelnen Verbrennungsluftzonen
- ▶ Vorgabe und Regelstrecken um NOx-Reduktionsbedingungen gezielt zu erreichen und aufrecht zu halten

Prüfstand und Messungen UTSR-900 ULN

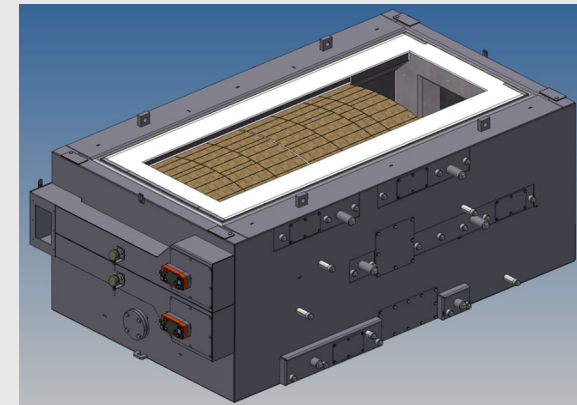
Was wurde gebaut? Was wurde getestet?

Umbau Prüfstand UTSR-900 in Eschlikon



Prüfstand:

- ▶ UTSR-900 in Eschlikon (bereits vorhanden) mit 900 kW Nennleistung
- ▶ **Nachrüstung:** Zwischenzug zwischen Standard-Brennkammer und Wärmetauscher



Beispiele von Brennstoffen bei den Ultra-LowNOx-Tests

Rinde:

Wassergehalt: M50

N-Anteil: 0,3 – 0,4 %TS



Waldhackschnitzel WH:

Wassergehalt: <M45

N-Anteil: 0,3 – 0,4 %TS



WH / Landschaftspflege:

Wassergehalt: <M45

N-Anteil: 0,5 – 0,6 %TS



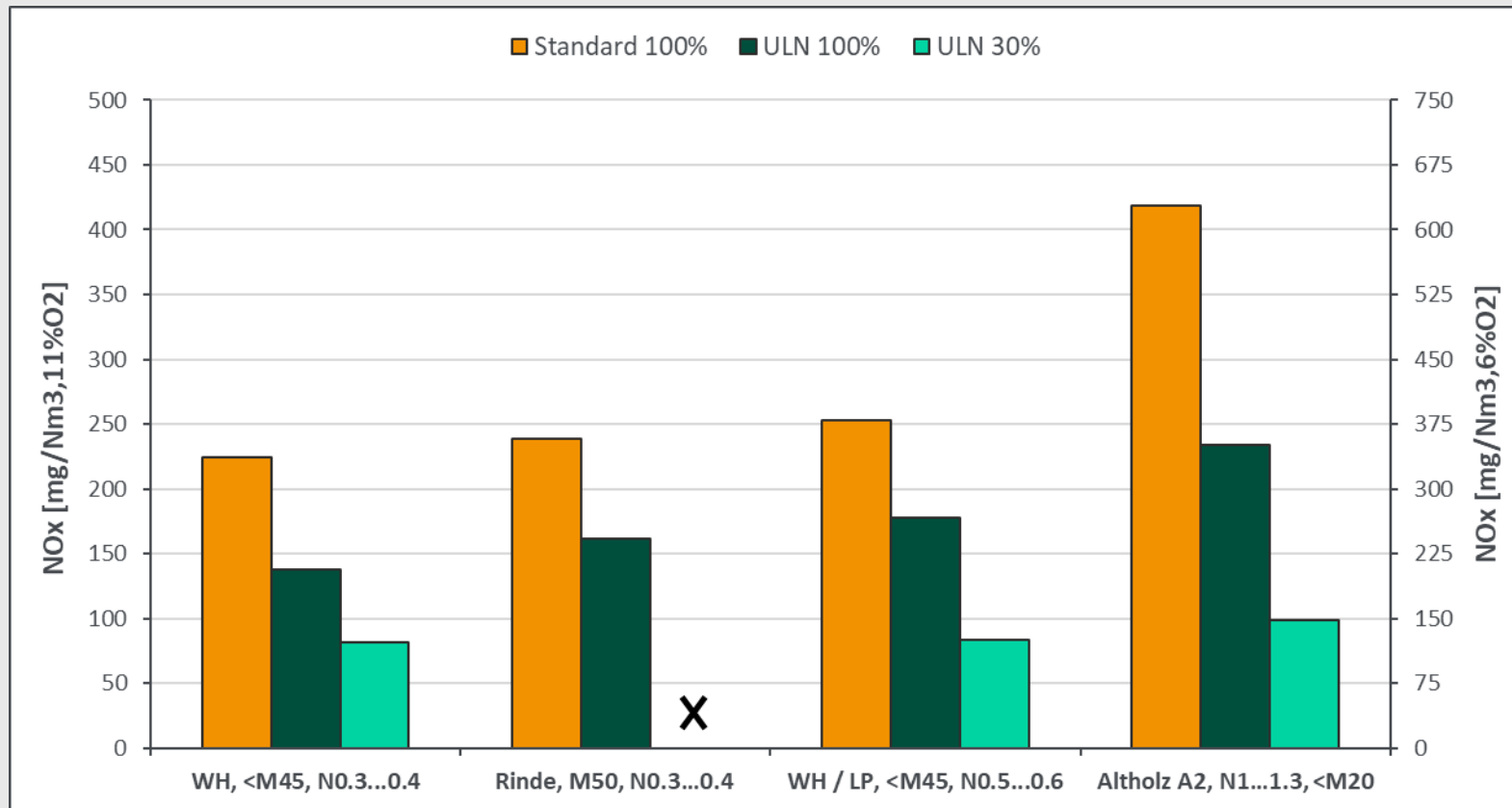
Altholz A2:

Wassergehalt: <M20

N-Anteil: 1,0 – 1,30 %TS

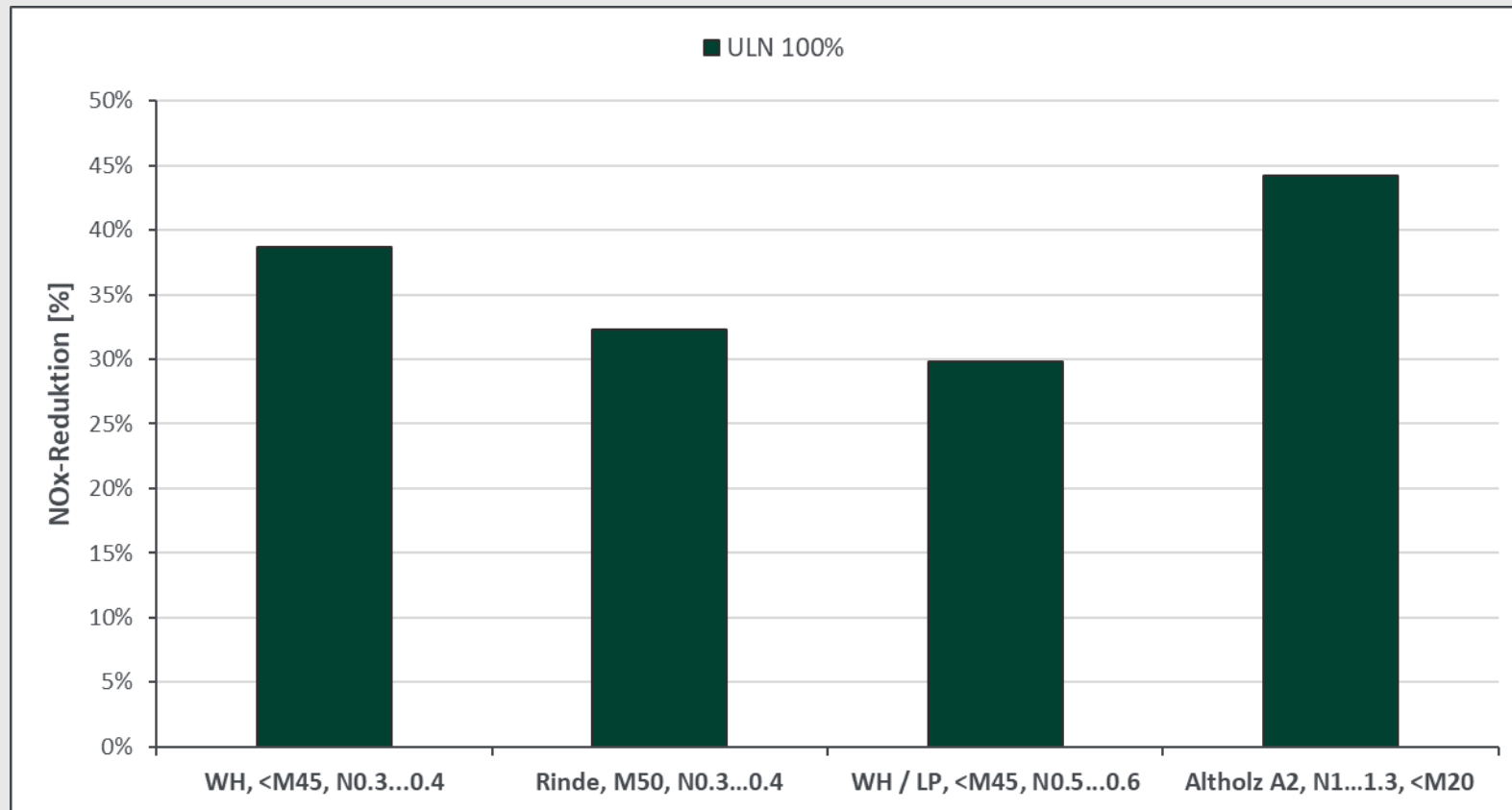


Ergebnisse NOx-Messungen am Prüfstand UTSR-900 ULN



- ▶ Die Standardwerte stammen von Messungen vor dem Umbau und von anderen Anlagen.
- ▶ Die Standardwerte können auch nachgebildet werden, in dem man die Stufung wie bei einer Standardfeuerung einstellt.
- ▶ Mit der neuen Regelung lassen sich Messpunkte einfach und schnell anfahren.
- ▶ Die Brennstofffeuchtigkeit und der Feinanteil haben einen massgebenden Einfluss auf die Reduktionen.
- ▶ In Teillast sind die Verweilzeiten viel länger, wodurch sich die Reduktion verstärkt.

Ergebnisse **NO_x-Reduktionen** im Vergleich zum Standard am Prüfstand UTSR-900 ULN



- ▶ Die in der Literatur beschriebenen Reduktionen von 30-50% lassen sich in der Praxis erreichen.
- ▶ Relevant für Auslegungen sind die Reduktionen bei 100% Leistung:
 - ▶ WH 39%
 - ▶ Rinde 32%
 - ▶ WH / LP 30%
 - ▶ Altholz A2 (trocken) 44%
- ▶ Mit höherem Stickstoffgehalt sind grössere Reduktionen möglich, wobei das resultierende NO_x höher ist.

Fazit aus den Tests

- ▶ Mit der neuen Regelung lassen sich auch bei verschiedenen Brennstoffqualitäten optimale Betriebszustände einfach und schnell anfahren und NOx-reduzierende Bedingungen in der Praxis aufrecht halten.
- ▶ Die erwarteten NOx-Reduktionen durch Luftstufung aus der Literatur von min. 30% (im Vergleich zum Standard) wurden in den Tests unter Praxisbedingungen bestätigt.
- ▶ Die Reduktionen werden stark von Brennstofffeuchtigkeit und Feinanteil beeinflusst.
- ▶ Die gewonnenen Erkenntnisse bezüglich NOx-Reduktionsvorgängen in der Feuerung werden zur Optimierung des Standards verwendet.

Ausblick Tests:

- ▶ Weitere Test zu Langzeitversuchen und Optimierungen der Regler laufen auf dem Prüfstand weiter.



Ausblick und aktuelle Projekte

Ausblick:

- ▶ Aufbau einer Reihe von Brennkammertypen 700 kW – 8 MW
 - ▶ *Je nach Feuerungstyp bis 2.4 MW ist die Technologie nachrüstbar*
- ▶ Konstruktionen verschiedener Grössen bereits vorhanden und weitere werden je nach Bedarf erstellt.

Laufende Projekte:

- ▶ FR-Bapaume 2.4 MW (Lieferung März 2027)
- ▶ FR-Château-Gontier 3.8 MW (Lieferung Okt. 2026)
- ▶ FR-Cannes 5MW (Lieferung Jan. 2027)
- ▶ Weitere Anlagen mit 1.2 MW, 1.6 MW, 2 MW, 5 MW und 8 MW in verschiedenen Märkten offeriert.



Herzlichen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit.